平成１６年度　室内空気環境に関する実証実験および調査業務

平成１７年３月

（財）住宅リフォーム・紛争処理支援センター

目　次

第１章　化学物質の発散状況の実態把握 ・・ **1**

１．　実大実験室を用いた床暖房からのＶＯＣ放散試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ **1**
1-1　はじめに ・・・ 1
1-2　試験方法 ・・・ 1
(1) 試験体
(2) 床暖構成材料の放散量測定
(3) 実大実験住宅の床暖房の施工
(4) 実験住宅の床暖房温度設定及び換気システムの運転
(5) 室内空気質濃度測定
1-3　測定結果 ・・・ 4
(1) 床暖構成材料からの放散量測定
(2) 実大実験住宅の室内温度及び床暖表面温度
(3) 室内濃度の経時変化
1-4　まとめ ・・ 8

２．実大実験室を用いた木材からのVOC放散試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ **9**
2-1　目的 ・・ 9
2-2　木材の仕様 ・・・ 9
2-3　ガラスデシケーターを用いた木材からのVOC放散量測定 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 10
2-4　実大実験室を用いた木材からのVOC放散量測定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 11
2-5　チャンバー試験による木材からのVOC放散量測定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 14
2-6　まとめ ・・ 16
(1) ガラスデシケーターとパッシブ型サンプラーを用いた木材VOC簡易測定法
(2) 実大実験室を用いた木材からのVOC放散試験
(3) チャンバーを用いた木材からのVOC放散試験

３．　各種建材のホルムアルデヒド及びVOC吸着性能試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ **17**
3-1　目的 ・・・ 17
3-2　試験体 ・・・ 17
3-3　試験方法 ・・ 18
(1) 放散試験
(2) 吸着試験
(3) 脱着試験
3-4　試験結果 ・・ 19
(1) ホルムアルデヒドについて
(2) VOC５物質について

第２章　適切な換気経路を確保するための方策の検討 ･･････････････････････････････････ 22

１．　天井裏等からの汚染物質の室内侵入に関する研究
～ 木造スライスモデルの相当隙間面積の測定結果 ～ ････････ 22
1-1　はじめに ･･ 22
1-2　スライスモデルの概要と気密性能 ････････････････････････････････････ 22
(1) スライスモデルの概要
(2) スライスモデルの気密性能
1-3　内部空間における相当隙間面積の測定 ････････････････････････････････ 24
(1) 測定の手順と方法
(2) 測定結果
1-4　おわりに ･･ 26

２．　天井裏等からの汚染物質の室内侵入に関する実証実験
～ 実建物を対象にした 2004 年度測定結果の概要 ～ ････････ 27
2-1　はじめに ･･ 27
2-2　侵入率の考え方と測定方法 ･･ 27
(1) 侵入率の考え方
(2) 測定方法
2-3　測定対象と測定結果の概要 ･･ 28
(1) 測定対象
(2) 測定結果

第３章　換気計画法の確立に関する検討 ･･ 32

１．　住宅用換気システムの風量測定に関する研究
～ 端末部材におけるフード式風量測定器の測定精度に関する実験 ～ ････････ 32
1-1　はじめに ･･ 32
1-2　実験概要 ･･ 32
(1) 実験装置と実験条件の概要
(2) 検証対象とした風量測定器
(3) 検証用端末部材と測定ケース
1-3　端末部材における風量測定器の精度検証実験の結果 ･･････････････････ 34
(1) 実験結果
(2) 実験結果の整理
1-4　吹き出し条件の測定誤差低減に関する実験 ････････････････････････････ 37
1-5　おわりに ･･ 38

２． 住宅の現場における風量測定マニュアル　案 ………………………… 39
2-1　はじめに ………………………………………………………… 40
2-2　用語の説明 …………………………………………………… 41
2-3　現場における風量測定手法についての知見 ………………… 43
2-4　フード式風量測定器を用いた現場での風量測定の方法 ……… 53
2-4-1　風量測定器の構成例
2-4-2　現場での測定
2-4-3　測定の記録
2-5　おわりに ………………………………………………………… 62
付録

３． 施工状況の把握 ……………………………………………………… 64
3-1　目的 ……………………………………………………………… 64
3-2　調査概要 ………………………………………………………… 64
⑴ サンプル数
⑵ 実施時期
⑶ 実施方法
3-3　調査項目 ………………………………………………………… 64
⑴ 風量測定
⑵ 施工状況調査
⑶ 換気設計図書調査
⑷ 化学物質濃度調査
⑸ 換気メーカーの見解調査
3-4　調査住宅の換気設備の概要 …………………………………… 66
⑴ ダクトレス換気設備
⑵ 第１種ダクト式換気設備
⑶ 第３種ダクト式換気設備
3-5　現場における風量測定の問題点 ……………………………… 68
3-6　給排気端末の風量調査結果 …………………………………… 69
⑴ ダクトレス換気設備（給気）
⑵ ダクトレス換気設備（排気）
⑶ ダクト式換気設備（第１種・給気）
⑷ ダクト式換気設備（第３種室内グリル端末）
⑸ ダクト式換気設備（第３種天井ファン）
3-7　設計施工に関して ……………………………………………… 72
3-8　換気設備メーカーの見解 ……………………………………… 73

第１章　化学物質の発散状況の実態把握

１．　実大実験室を用いた床暖房からのＶＯＣ放散試験

1-1 はじめに

シックハウス対策のための建築基準法改正では、夏季の 28℃50%の環境下で室内ホルムアルデヒド濃度を指針値以下にするため、規制対象となる建築材料はホルムアルデヒド発散等級によって面積に制限がかかる。しかし冬季の暖房として用いられることが多い床暖房は、合板やＭＤＦなど規制対象建築材料を組み合わせて作られることが多く、また内部に電気ヒーターや温水パイプなどを配して加熱することで、材料自体の温度が 28℃を超える温度になる可能性がある。

本実験では、冬季において床暖房により室内を暖房した場合の室内化学物質濃度を実大実験室を用いて確認し、設計施工のための基礎資料を得ることを目的とする。

1-2 試験方法

(1) 試験体

床暖房の加熱方式は、電気式、温水式の２種類、仕上げは木質フローリング、ウールカーペットの２種類、下地は在来根太合板下地と置き床パーティクルボード下地の２種類とし、表 1-1 に示す構成で４条件とした。

表 1-1　床暖房の構成

実験室	床下地	床暖房	仕上げ材	
A	根太式 合板貼り 12㎜　F☆☆☆☆	電気	一体型	木質ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ F☆☆☆☆
B			独立型	ｳｰﾙｶｰﾍﾟｯﾄ
C		温水	一体型	木質ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ F☆☆☆☆
D	置き床式 ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ貼り 20㎜　F☆☆☆		一体型	

(2) 床暖構成材料の放散量測定

実大実験住宅に床暖房を施工する際、同時にサンプルを切り出し、デシケーター法（JIS A 1460）によるホルムアルデヒド放散量測定、チャンバー法（JIS A 1901）による放散量測定を行う。なおチャンバー試験では、28℃50%環境以外に 33℃50%環境での測定を実施し、温度依存性の確認を行うとともに、テドラーバック法での平衡濃度測定(28℃、33℃)もあわせて実施した。

(3) 実大実験住宅の床暖房の施工

実験に使用した実大実験住宅は、床面積 12.1m²（８畳）の部屋が６部屋連なり、各部屋とも内装仕上げは木質フローリング、壁紙仕上げとなっている。実験住宅の外観を写真 1-1 に、平面図を図 1-1 に示す。床暖房の施工は、A，B，C，Dの４部屋を用い、既存床の上に床暖房を施工した。床暖施工状況を写真 1-2、写真 1-3 に示す。



写真 1-1　実験住宅　外観

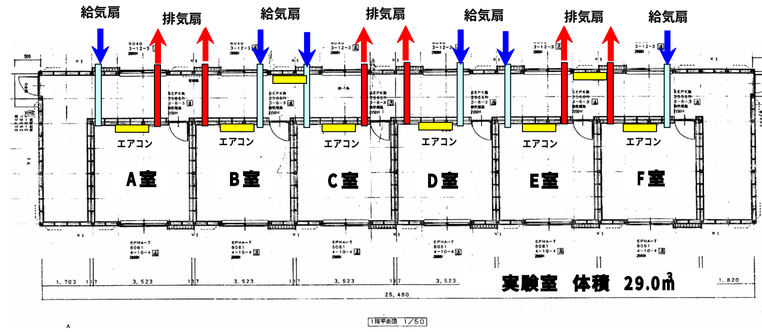


図 1-1　実験住宅　平面図



写真 1-2　床下地（根太式）



写真 1-3　温水式床暖パネル

(4) 実験住宅の床暖房温度設定及び換気システムの運転

床暖房は３日間連続運転を行い、温度設定は、最高と中間の２条件とした。換気は第一種機械換気により換気回数 0.5 回と、機械換気システム停止状態を原則とし、最後に第三種機械換気 0.5 回での測定も行った。

床暖房の運転は３日間連続とし、その後４日間は、床暖房の運転を停止し、エアコンによる暖房（温度設定 23℃）及び第一種機械換気 0.5 回運転とし、７日間を区切りとした。また実験期間中室内には加湿器を設置し、室内の相対湿度が 40%程度となるよう連続加湿を行った。

実験条件を表 1-2 及び図 1-3 に示す。

表 1-2　実験条件（４部屋共通）

実験条件	床暖温度設定	換気
条件１	最高	第一種機械換気　0.5回
条件２	最高	停止
条件３	中間	第一種機械換気　0.5回
条件４	中間	停止
条件５	最高	第三種機械換気　0.5回

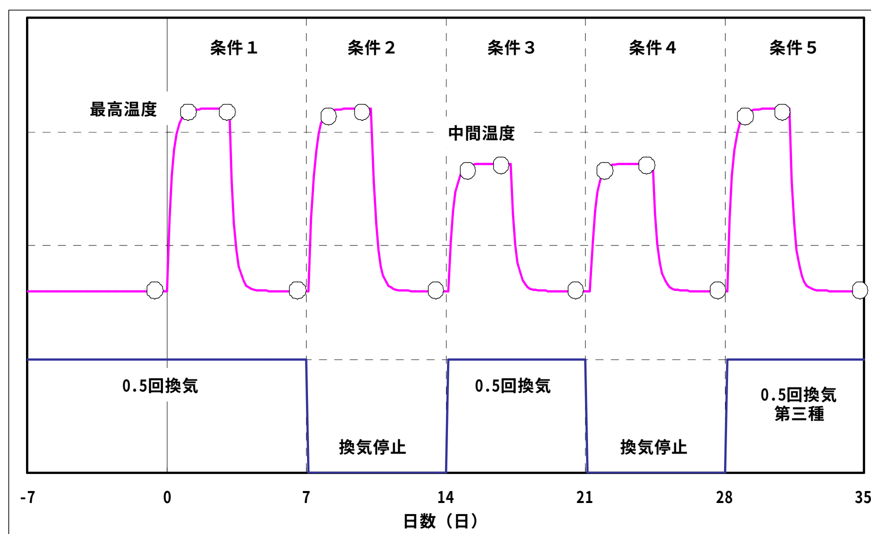


図 1-2　実験条件と測定スケジュール　（○：サンプリング）

(5) 室内空気質濃度測定

サンプリング位置は実験室内中央とする。廊下に設置したサンプリングポンプに空気捕集用カートリッジを取り付け、実験室中央部の空気をテフロンチューブを介して廊下側のカートリッジで採取する。（図 1-3 参照）また床下部の空気質濃度も合わせて測定する。（図 1-4 参照）

測定化学物質は、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、キシレン、スチレン、エチルベンゼン、パラジクロロベンゼン、テトラデカン、ＴＶＯＣの９種類とする。

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは DNPH カートリッジに採取した空気（流量 1.0L/min で 30L 採取）を高速液体クロマトグラフ（HP/LC)を用いて分析を行う。その他のＶＯＣについては、VOC 吸着管に採取した空気（流量 0.1L/min で 3L 採取）をガスクロマトグラフ（GC/MS)を用いて分析を行う。アルデヒド及びＶＯＣのサンプリングは二重測定とし、平均値を室内濃度とする。

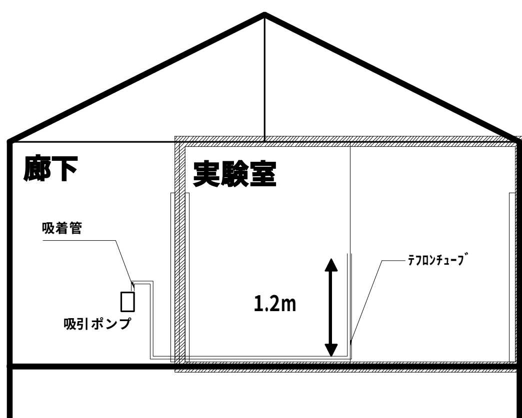


図 1-3　実験室内の空気サンプリング

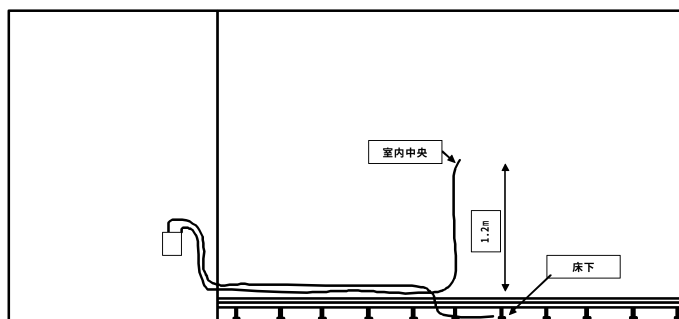


図 1-4　床下空間の空気サンプリング

1-3 測定結果

（1）床暖構成材料からの放散量測定

デシケーター試験による放散量測定結果を表 1-3 に示す。またチャンバー試験における７日目濃度とテドラーバックによる濃度測定結果より、n/L と 1/C（ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ）の関係を求めた結果を図 1-5、図 1-6、図 1-7 に示す。なおウールカーペットからはホルムアルデヒドが検出されなかった。

表 1-3　デシケーター法による放散量測定結果

		放散量(mg/L)				等級
		１体目	２体目	平均	最大	
木質ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ	電気	0.10	0.09	0.10	0.10	F☆☆☆☆
	温水	0.15	0.14	0.15	0.15	F☆☆☆☆
CP下地	電気（ｶｰﾍﾟｯﾄ）	0.12	0.11	0.12	0.12	F☆☆☆☆
下地合板	JAS F☆☆☆☆	0.26	0.25	0.26	0.26	F☆☆☆☆
下地PB	JIS F☆☆☆	0.42	0.39	0.41	0.42	F☆☆☆

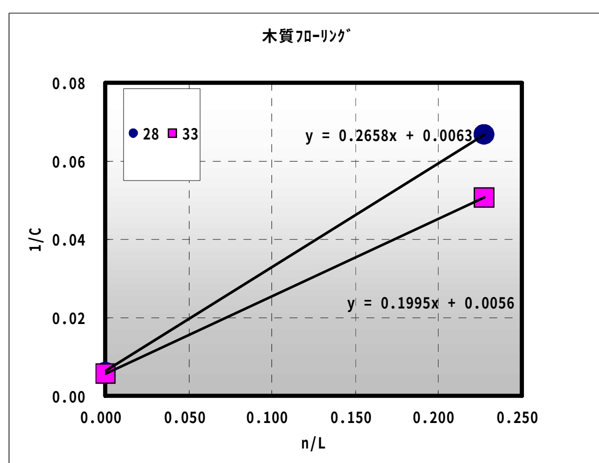


図 1-5　木質フローリング　n/L と 1/C

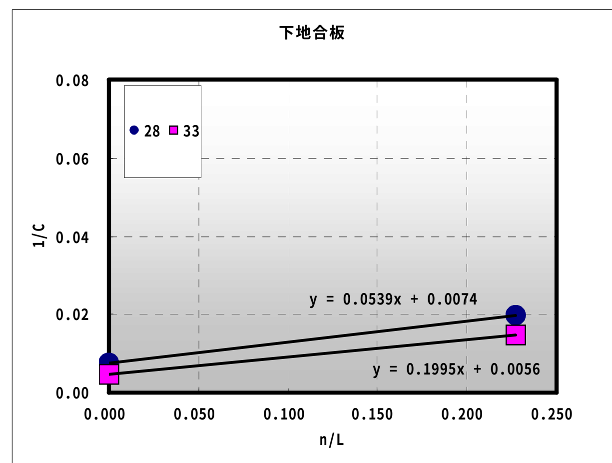


図 1-6　下地合板　n/L と 1/C

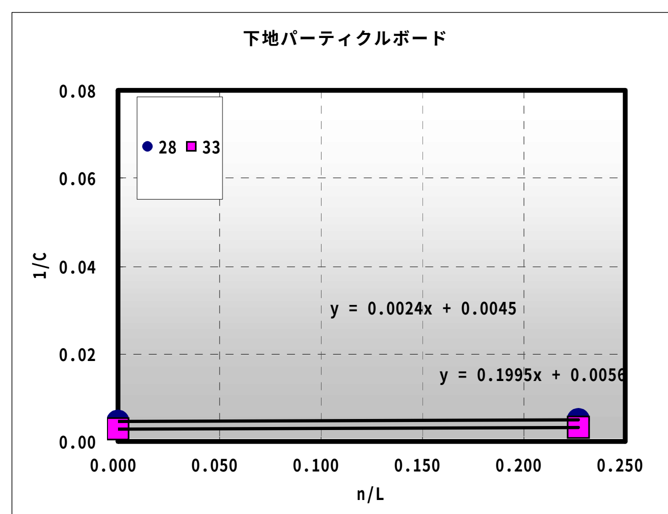


図 1-7　下地パーティクルボード　n/L と 1/C

チャンバー試験におけるＶＯＣ測定結果を図 1-8 に示す。エタノール、アセトンが高い濃度を示した。またパーティクルボードではαピネンの放散が認められた。

なお測定した化学物質のうち、室内濃度指針値に定められている、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、パラジクロロベンゼン、テトラデカンのチャンバー内濃度は、指針値を大きく下回っている。

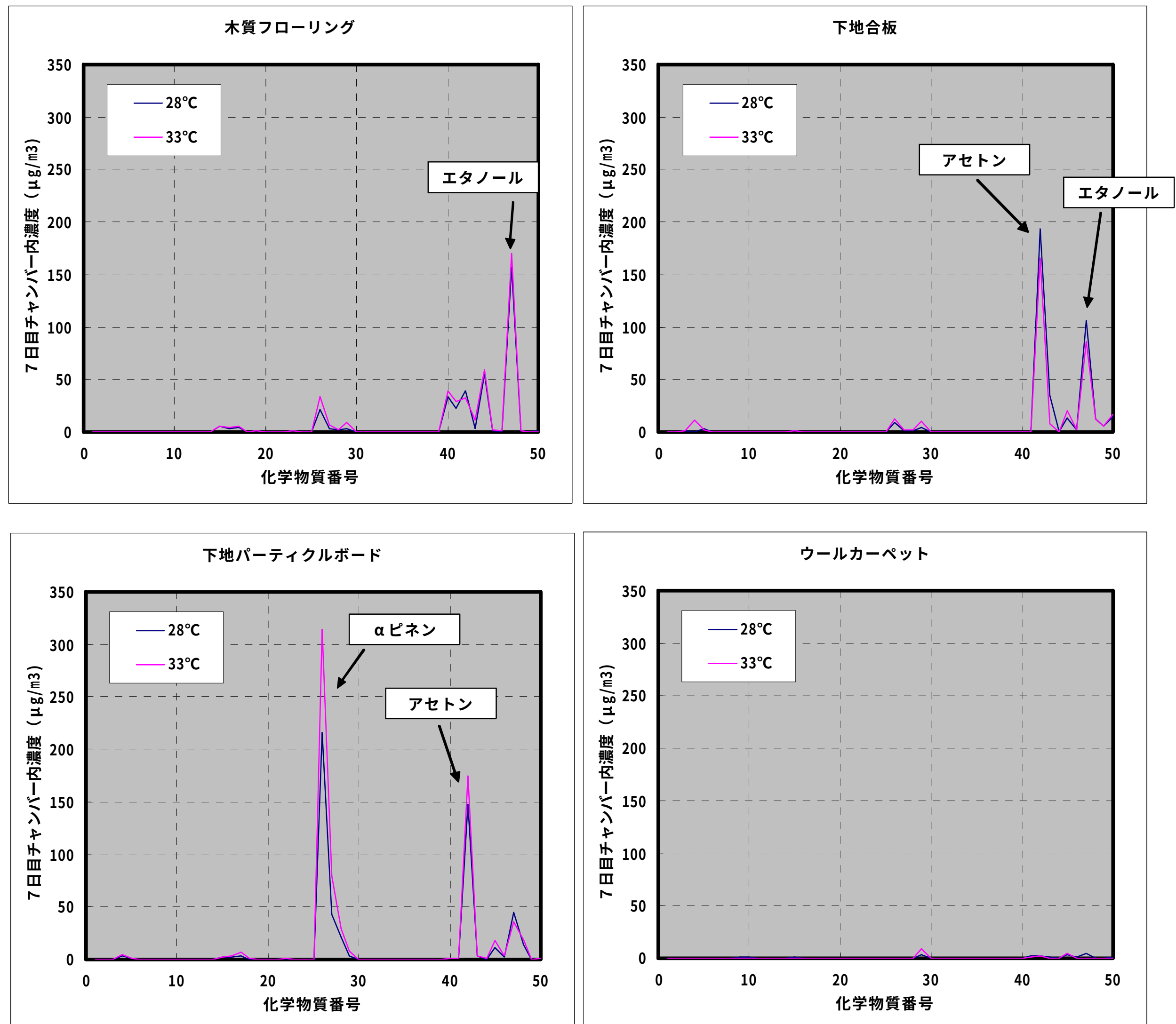


図 1-8　チャンバー試験におけるＶＯＣ濃度

(2) 実大実験住宅の室内温度及び床暖表面温度

実験期間中の室内温度及び床暖房表裏面の温度を図 1-9 に示す。室温に比べ表裏面温度は高く、特に最高温度設定での実験では、裏面温度は 45℃程度となっている。

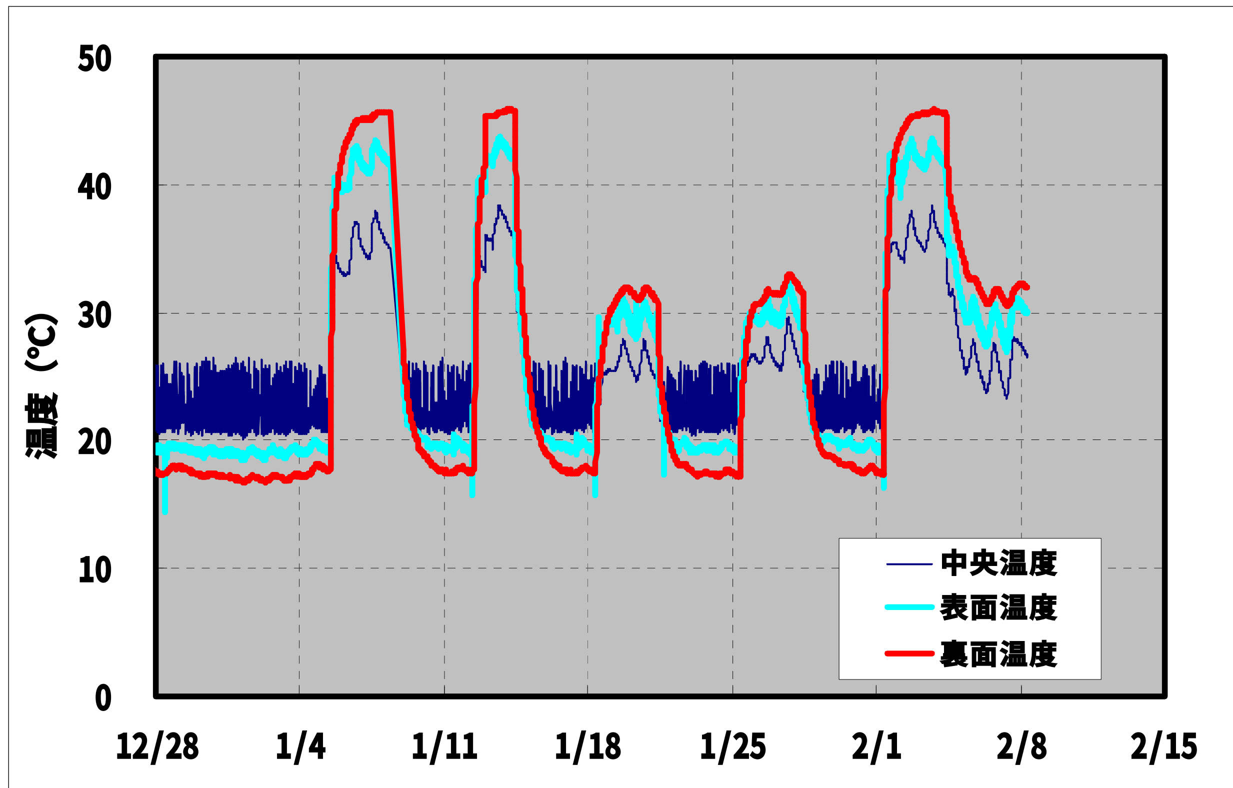


図 1-9　実験室中央温度及び表裏面温度（D 室温水式床暖房）

(3) 室内濃度の経時変化

図 1-10 に各実験室のホルムアルデヒド濃度経時変化を示す。最高温度設定で換気停止状態でも室内のホルムアルデヒド濃度は厚生労働省室内濃度指針値を超えることはなかった。

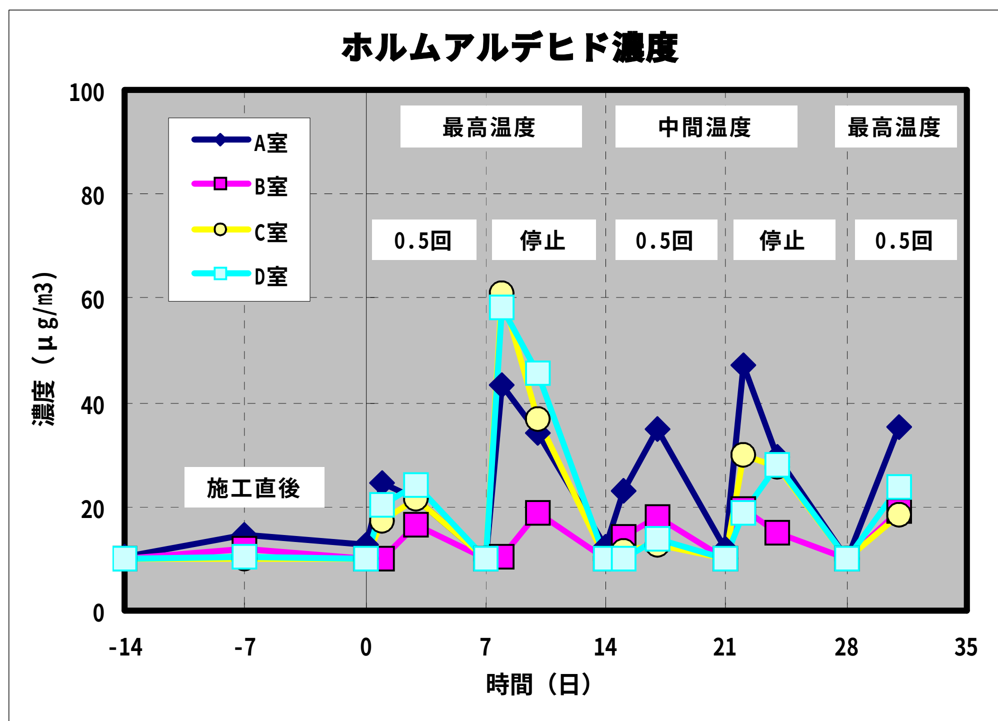


図 1-10　各実験室のホルムアルデヒド濃度　経時変化

図 1-11 に各実験室のアセトアルデヒド濃度経時変化を示す。木質フローリングに比べ、ウールカーペットが高濃度となる結果であった。

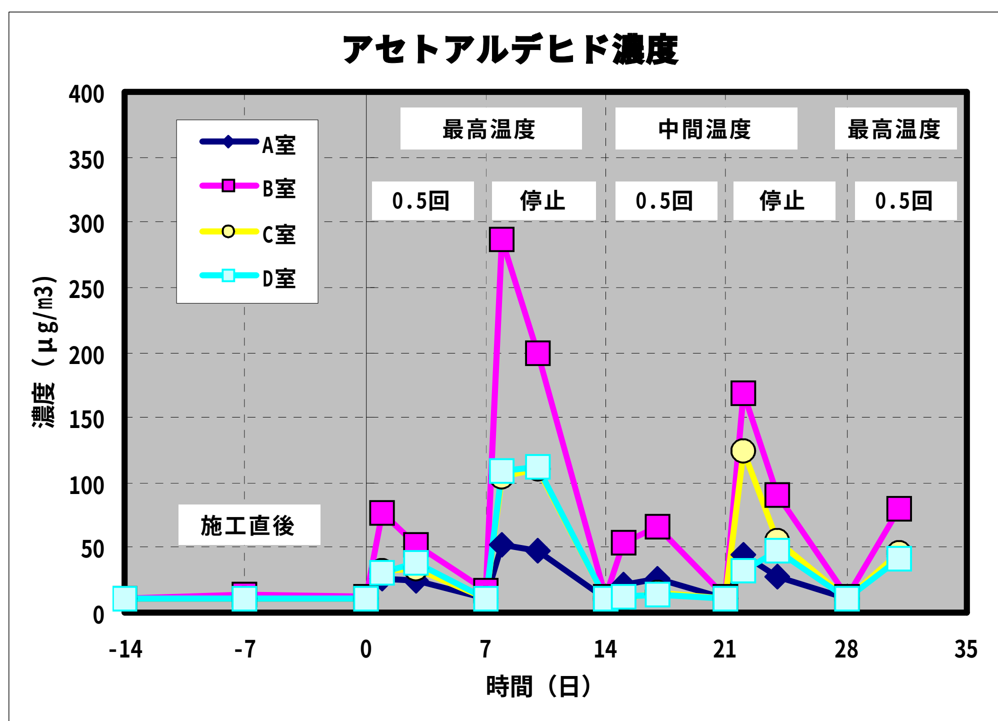


図 1-11　各実験室のアセトアルデヒド濃度経時変化

図 1-12 に各実験室のＴ－ＶＯＣ濃度経時変化を示す。温水式床暖房の仕上げに用いた木質フローリングからＶＯＣの発生が見られた。

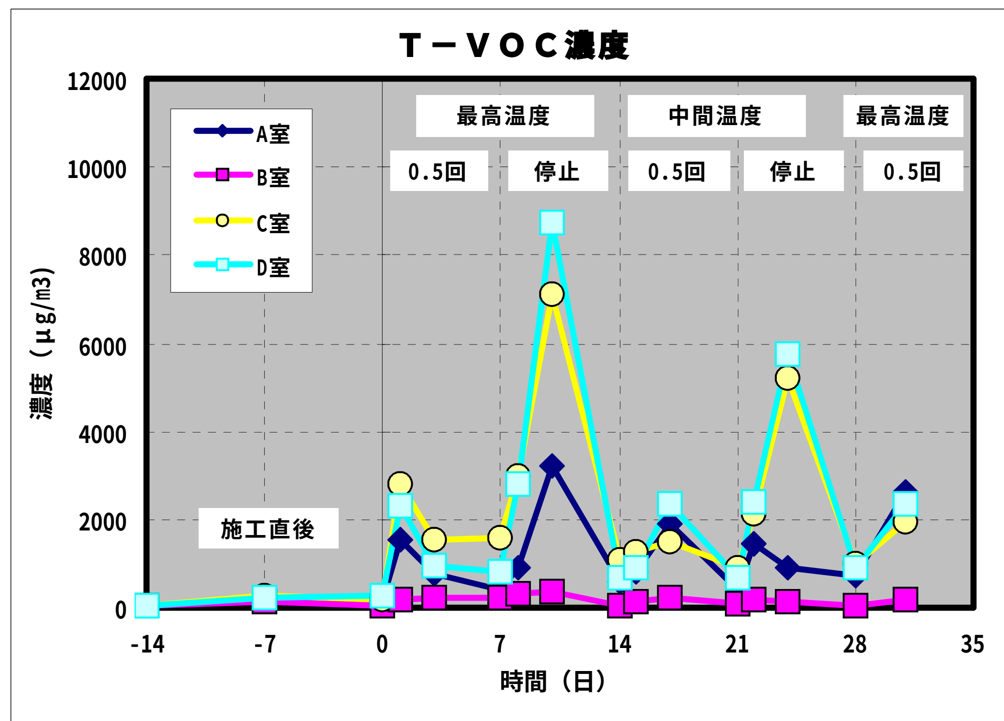


図 1-12　各実験室のＴ－ＶＯＣ濃度　経時変化

1-4 まとめ

実大実験住宅を用いた床暖房からのＶＯＣ放散実験で以下の結果を得た。

①表面仕上げにＦ☆☆☆☆の建材を用いることで、床暖房加熱時においても室内のホルムアルデヒド濃度は厚生労働省室内濃度指針値以下であった。また換気システムを停止することで室内のホルムアルデヒド濃度は高くなったが、今回の実験では、指針値を超えることはなかった。

②アセトアルデヒド濃度は、床仕上げをウールカーペットとした場合が高い値となった。またＴＶＯＣは木質フローリングが高い結果となった。アセトアルデヒド、ＴＶＯＣともに換気システムを運転することで室内濃度は大きく低下した。

２．　実大実験室を用いた木材からのＶＯＣ放散試験

2-1 目的

天然材料である木材は、建築基準法施行令第 20 条の 5 で規定されるホルムアルデヒド発散建築材料に該当していない。しかし木材からは、様々な化学物質が放散していることが知られている。そこで以下の実験を行い木材からのＶＯＣ放散の基礎データを得ることを目的とする。

① ガラスデシケーターを用いた木材からのＶＯＣ放散量測定
② 実大実験室を用いた木材からのＶＯＣ放散量測定
③ 20L チャンバーを用いた木材からのＶＯＣ放散量測定

2-2 木材の仕様

実験に用いた木材の仕様及び乾燥工程詳細を表 1-4 に示す。また木材の密度及び含水率を表 1-5 に示す。

表 1-4　木材の仕様と乾燥工程詳細

ヒノキ無垢材フローリング

断　面　：幅110mm
厚さ15mm
長さ　3900mm
さね加工：二方さね
乾燥工程：天然乾燥３ヶ月後人工乾燥５日
製造工程：乾燥工程終了後フローリング加工

ミズナラ無垢材フローリング

断　面　：幅75mm
厚さ15mm
長さ　乱尺
さね加工：四方さね
乾燥工程：天然乾燥3～4ヶ月後人工乾燥14日
製造工程：乾燥工程終了後フローリング加工

レッドパイン（オウシュウアカマツ）無垢材フローリング

断　面　：幅115mm
厚さ15mm
長さ　3900mm
さね加工：四方さね
乾燥工程：天然乾燥4ヶ月後人工乾燥10日
製造工程：乾燥工程終了後ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ加工
製造場所：フィンランド

表 1-5　木材の密度及び含水率

			ヒノキ	ミズナラ	オウシュウアカマツ
密度(kg/m³)		平均	457	689	474
		標準偏差	36	62	37
含水率(%)	納品初期	平均	9.7	9.7	10.2
		標準偏差	0.8	0.2	0.3
	実大実験終了後	平均	11.1	9.5	10.8
		標準偏差	0.4	0.5	0.3

2-3 ガラスデシケーターを用いた木材からのVOC放散量測定

木材表面積 450cm2（側面アルミテープによりシール処理）に調整した試験片を、JIS A 1460「建築用ボード類のホルムアルデヒド放散量試験　デシケーター法」で用いる ガラスデシケーター（φ240mm　10L）に入れ、パッシブ型サンプラーでデシケーター内の濃度測定を行った。実験は 24 時間とし、温度を 23、28、33℃の３条件とした。また同一樹種３体とし、ヒノキ、ミズナラ、オウシュウアカマツの３樹種について測定を行った。試験状況を写真 1-4 に示す。また試験結果を図 1-13、図 1-14、図 1-15 に示す。

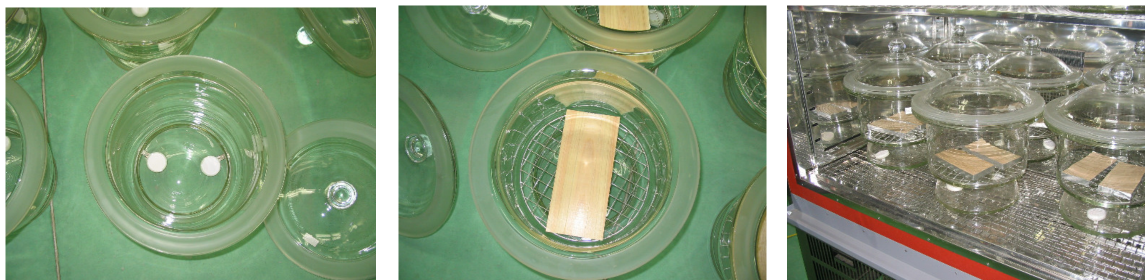


写真 1-4　ガラスデシケーターを用いた放散量測定状況

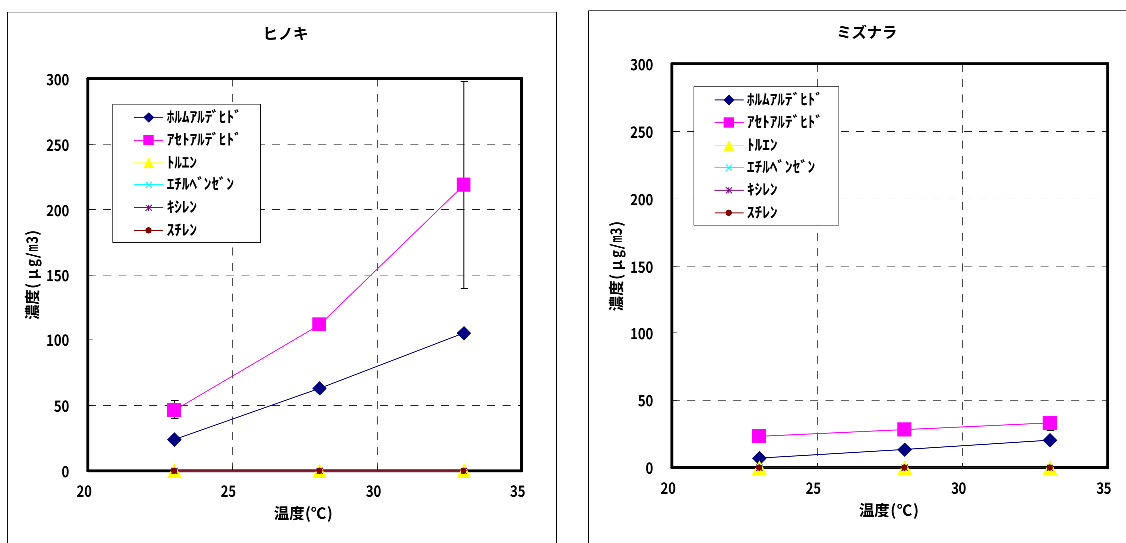


図 1-13　ガラスデシケーター試験による放散量試験結果 1

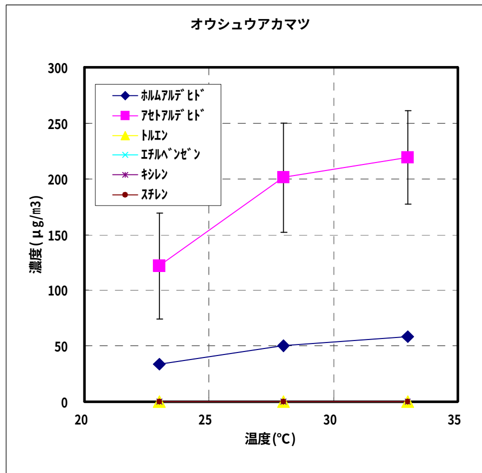


図 1-14　試験結果 2

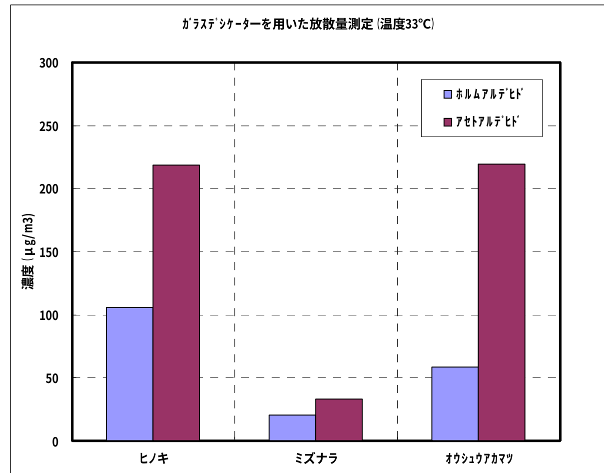


図 1-15　33℃における木材からのｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ類の濃度

2-4 実大実験室を用いた木材からのVOC放散量測定

施工状況を写真 1-5 に示す。施工終了時の実験室の状況を写真 1-6～写真 1-10 に示す。





写真 1-5　施工状況

実験室にヒノキ、ミズナラ、オウシュウアカマツの３樹種の内装仕上げを施した。仕上げ面は、床壁とする。ヒノキについては壁全面仕上げと腰壁仕様の２条件とし、コントロールとして木材の内装仕上げを行わない部屋を１室準備した。実験条件を表 1-6 に示す。

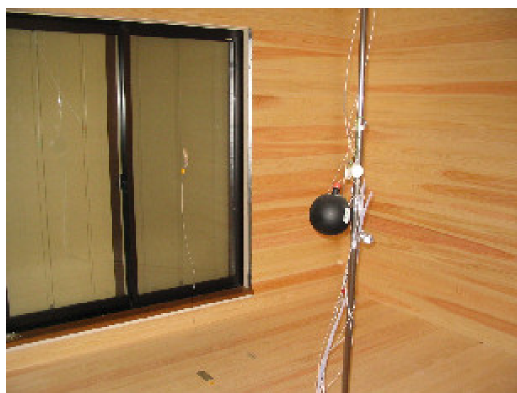


写真 1-6　A 室　ヒノキ



写真 1-7　B 室　ミズナラ



写真 1-8　C室　ｵｳｼｭｳｱｶﾏﾂ



写真 1-9　D室　ｺﾝﾄﾛｰﾙ（既存実験室）



写真 1-10　ヒノキ　腰壁

表 1-6　実験条件

実験期間	平成 16 年 7 月 30 日～9 月 23 日　56 日間（8 週間）
実験室寸法	床面積　12.1m2　　気積　29.0m3
温湿度設定	28℃（エアコン冷房）湿度は成りゆき
換気回数	0.5 回/h
試料負荷率	A室　ヒノキ　　L=1.39(m²/m³)
	B室　ミズナラ　　L=1.39(m²/m³)
	C室　ｵｳｼｭｳｱｶﾏﾂ　　L=1.39(m²/m³)
	D室　コントロール
	E室　ヒノキ　　L=0.77(m²/m³)

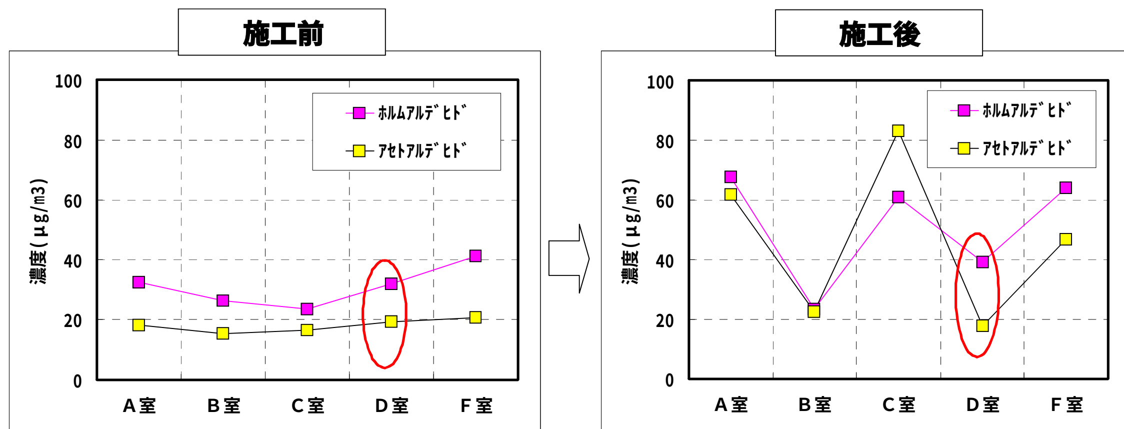


図 1-16 施工前後のアルデヒド類濃度比較

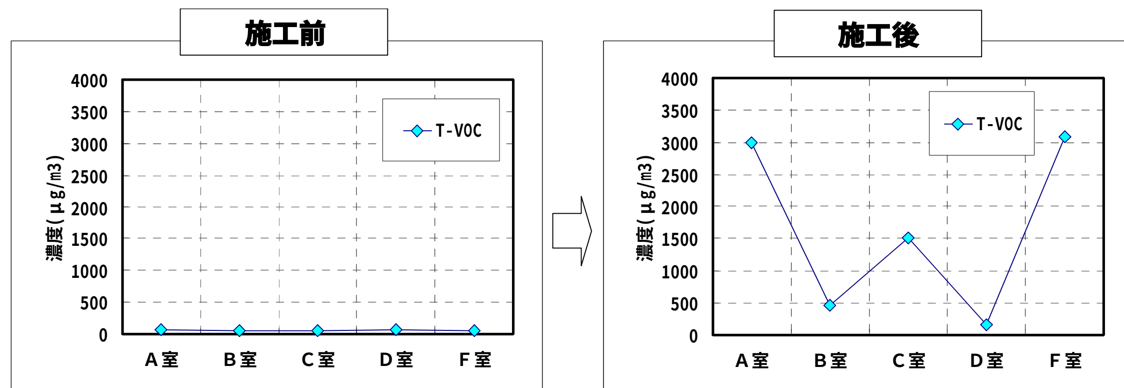


図 1-17　施工前後のT－VOC濃度比較

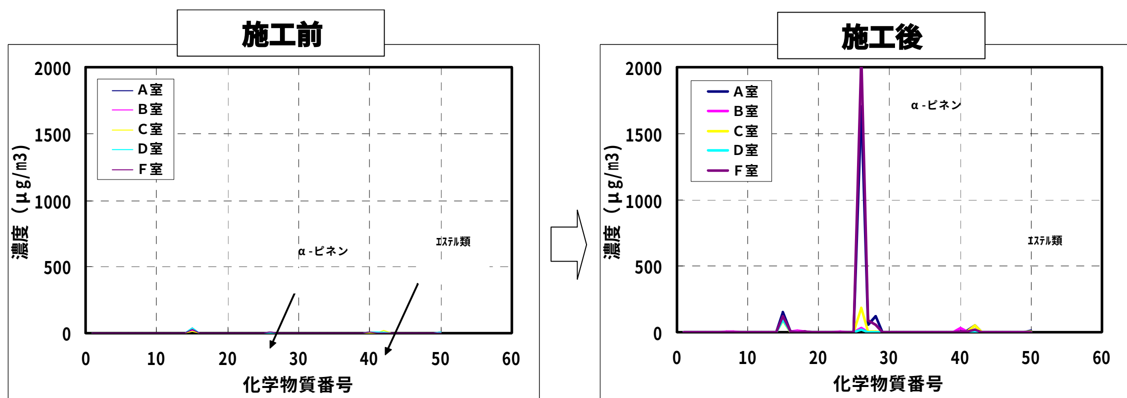


図 1-18　施工前後のＶＯＣ濃度

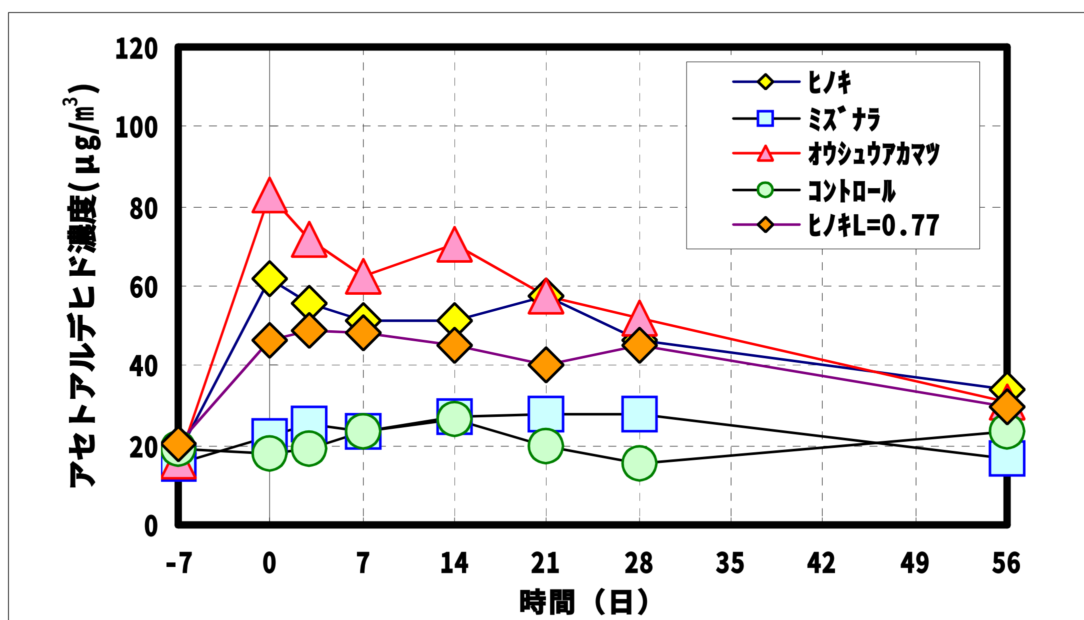


図 1-19　アセトアルデヒド濃度の経時変化

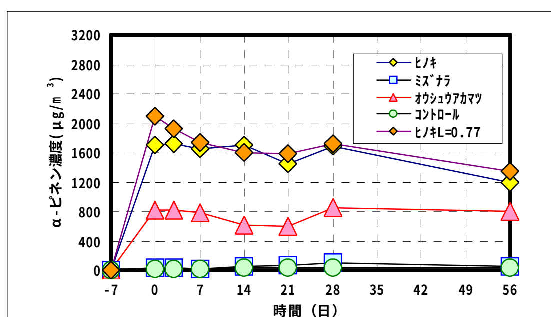


図 1-20　α－ピネン濃度経時変化

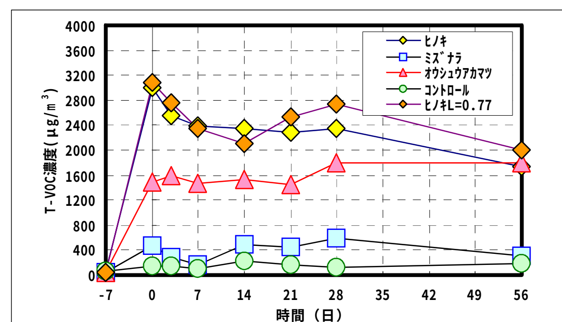


図 1-21　Ｔ－ＶＯＣ濃度経時変化

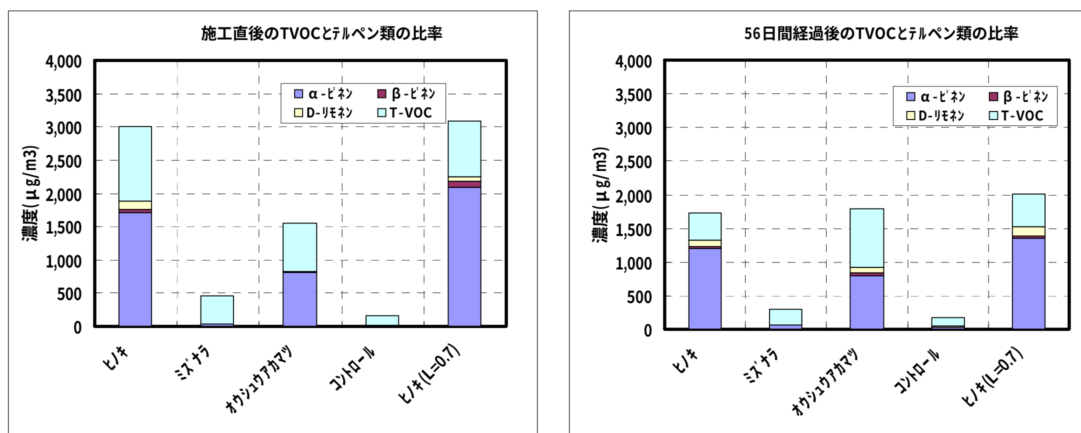


図 1-22　施工直後と 56 日目　ＴＶＯＣ濃度とテルペン類の割合

2-5 チャンバー試験による木材からのVOC放散量測定

チャンバー試験の試験体は、表側を外側に向け２枚合わせとし、試験片側面はアルミテープで気密処理した。試験体は試料負荷率 2.2(m²/m³)と 1.4(m²/m³)の２条件設定した。写真 1-11 にチャンバー試験に用いた試験体形状を示す。

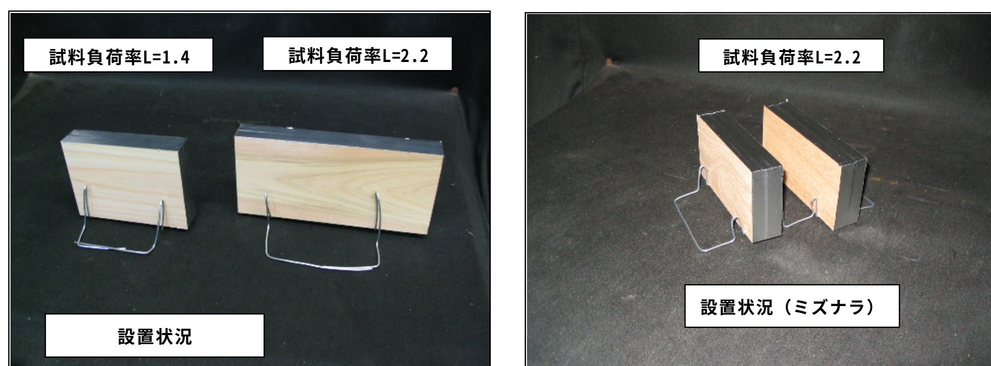


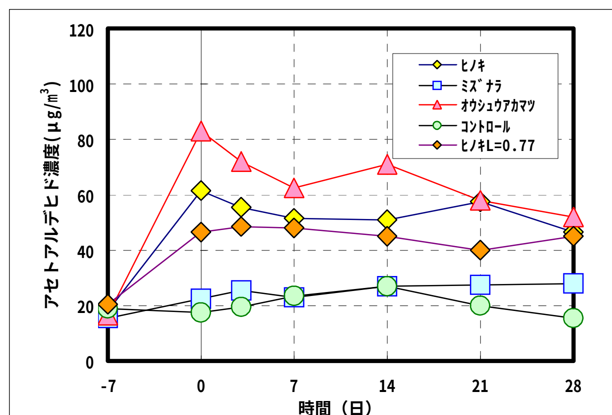
写真 1-11　チャンバー試験用　試験体

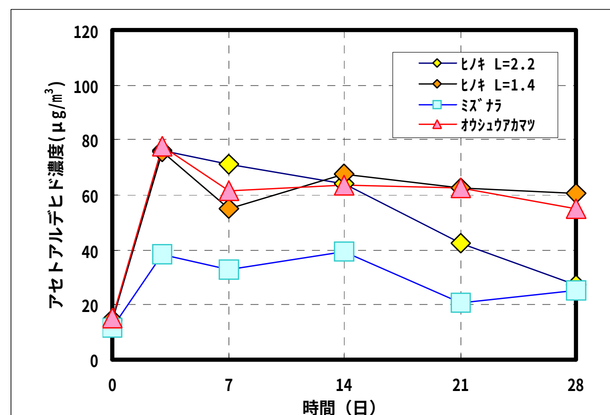
チャンバー試験条件を表 1-7 に示す。なお実大実験とチャンバー試験は同時期に実施した。

表 1-7　チャンバー試験　共通試験条件

チャンバー容量（L）	20L
チャンバー内環境	温度　28°C　　湿度　50%
換気回数	0.5回/h
シールボックス	使用せず

	樹種	試料負荷率	測定期間（日） 0	7	14	21	28	35	42	49	56
実大実験	ヒノキ	1.39									
	ミズナラ	1.39									
	オウシュウアカマツ	1.39									
	コントロール										
	ヒノキ	0.77									
20L チャンバー	ヒノキ	2.2									
	ヒノキ	1.4									
	ミズナラ	2.2									
	オウシュウアカマツ	2.2									
	ヒノキ	2.2									
	ヒノキ	1.4									
	ミズナラ	2.2									
	ミズナラ	1.4									
	オウシュウアカマツ	2.2									
	オウシュウアカマツ	1.4									
デシケータ	ヒノキ										
	ミズナラ										
	オウシュウアカマツ										

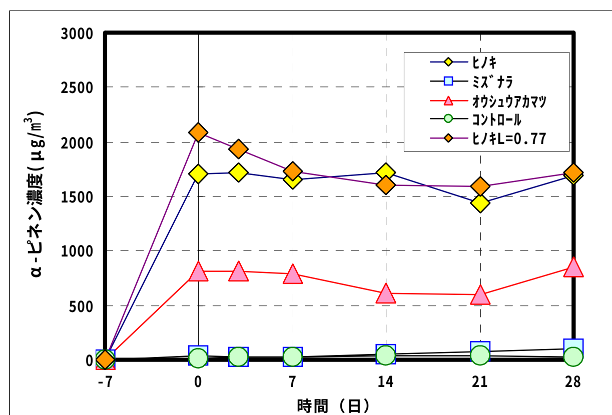


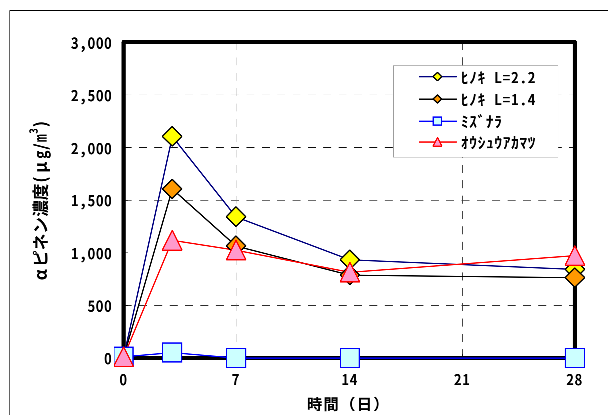


実大実験室

20L チャンバー

図 1-23　アセトアルデヒド濃度の経時変化

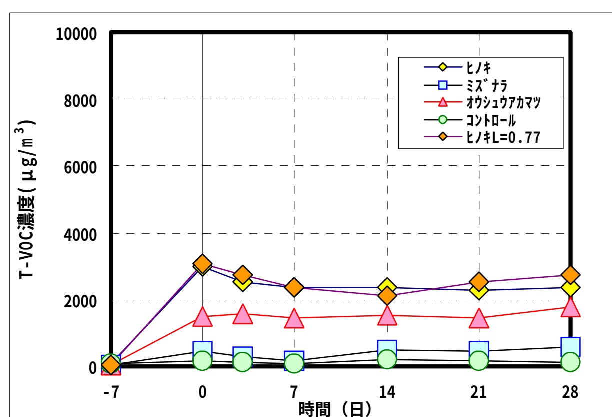


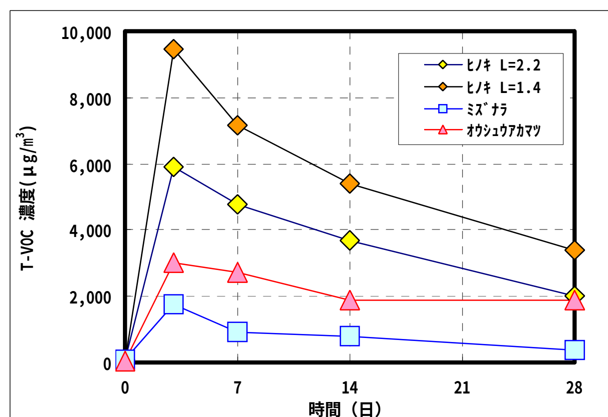


実大実験室

20L チャンバー

図 1-24　αーピネン濃度の経時変化





実大実験室

20L チャンバー

図 1-25　Ｔ－ＶＯＣ濃度の経時変化

2-6 まとめ

木材からのＶＯＣ放散試験により得られた結果を以下にまとめる。

(1) ガラスデシケーターとパッシブ型サンプラーを用いた木材ＶＯＣ簡易測定法

・木材からアセトアルデヒド、ホルムアルデヒドの放散が見られたが、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレンの濃度は測定されなかった。

・木材からのアセトアルデヒド放散は、ヒノキ、オウシュウアカマツの針葉樹が高く、ミズナラは低い値となった。

・同一樹種においてアセトアルデヒド、ホルムアルデヒドの放散にはばらつきがあるものの、温度上昇に伴い放散量が増加する傾向が見られた。

(2) 実大実験室を用いた木材からのＶＯＣ放散試験

・木材を内装仕上げとした実大実験室においても、木材からアセトアルデヒド、ホルムアルデヒドの放散が見られた。しかしトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレンの濃度は厚生労働省室内濃度指針値を大きく下回った。ヒノキ、オウシュウアカマツの針葉樹材を用いた実験室では、アセトアルデヒド濃度が高く、ミズナラは低い値となった。

・針葉樹を内装仕上げとして施工した実大実験室では、施工直後にアセトアルデヒド濃度は高い値を示したが、0.5 回/h 換気を連続して行うことで 56 日目には、50(μg/m^3)以下となった。

・ヒノキ、オウシュウアカマツの針葉樹を施工した実験室は、Ｔ－ＶＯＣも高い値を示した。またＴ－ＶＯＣでは、テルペン類に属するα－ピネンの割合が大きいことが確認できた。

(3) チャンバーを用いた木材からのＶＯＣ放散試験

・チャンバー試験においても木材からアセトアルデヒド、ホルムアルデヒドの放散が見られた。しかしトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレンの濃度はほとんど測定されなかった。ヒノキ、オウシュウアカマツの針葉樹材のチャンバーでは、アセトアルデヒド濃度が高く、ミズナラは低い値となった。

・ヒノキ、オウシュウアカマツの針葉樹を入れたチャンバーでは、アセトアルデヒド、α－ピネンの濃度が高い結果となった。Ｔ－ＶＯＣでは、テルペン類に属するα－ピネンの割合が大きいことがチャンバー試験においても確認できた。

・２８日間の測定では、時間経過に伴うアセトアルデヒド濃度の減衰は小さかった。この傾向は実大実験室においても同様であった。

・α－ピネンや、Ｔ－ＶＯＣについては、実大実験室に比べチャンバー内の方が濃度減衰が大きい結果となった。実大実験室では化学物質が表面に吸着しやすいことが影響していると考えられる。

３． 各種建材のホルムアルデヒド及びVOC吸着性能試験

3-1 目的

これまで建材・内装材からのカルボニル化合物、VOC等の放散に関してはかなり検討が行われており、シックハウス対策も飛躍的に進歩している。最近では、空気中の化学物質を吸着する吸着建材の開発も進み、市場に流通するようになった。ただし、これらの建材はごく限られた範囲で使用されており、全体的な吸着性能の傾向も把握されていない。

そこで、市場流通建材の中から吸着建材1種及び一般家庭で使用されている建材４種（内装材含む）を選択し、ホルムアルデヒド及びVOC５物質（トルエン、エチルベンゼン、キシレン、パラジクロロベンゼン、スチレン）の吸着性能の検証を行った。検証実験の流れを図1-26、試験装置を写真1-12に示す。

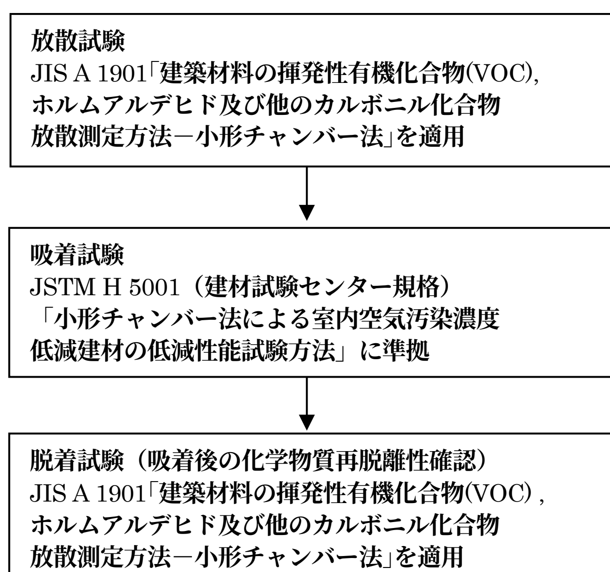


図1-26　測定の流れ



写真1-12　小形チャンバー（ADPAC20L）

3-2 試験体

今回の調査に使用した試験体について表1-8に示す。

表1-8　試験体

試験体名称	炭ボード	せっこうボード	カーペット	布製カーテン	レース製カーテン
種別	吸着建材	一般建材	一般内装材	一般内装材	一般内装材
寸法(mm)	165×165×13	165×165×12	165×165×7	147×147×0.5	147×147×0.4
枚数（枚）	2	2	2	1	1
外観					
曝露条件	表面のみ曝露			切断面を含む全面曝露	

3-3 試験方法

(1) 放散試験

JIS A 1901 による放散試験の概要図を図 1-27 に示す。なお、試験は７日間行った。

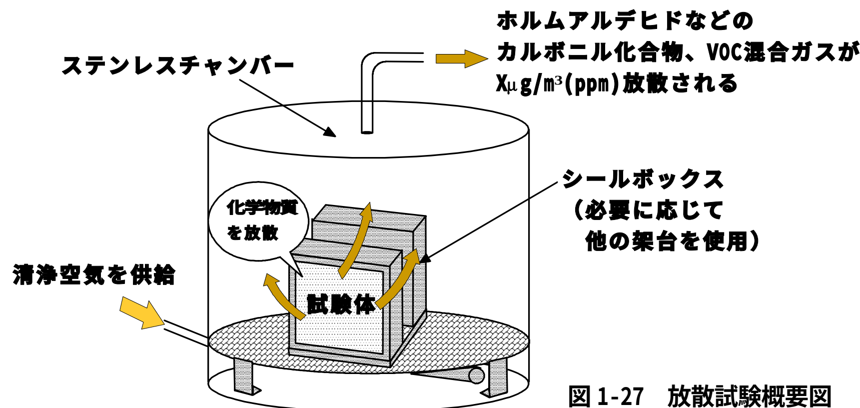


図 1-27　放散試験概要図

試験結果は、「放散速度[μg/(m²•h)]」という値で求められる。これは、１時間あたり１平方メートルの試験体からどのくらいの量の化学物質が放散されたかを示し、チャンバー出口の化学物質濃度 X と試験時の条件設定から算出される値である。

(2) 吸着試験

放散試験終了後、続けて吸着試験を行った。JSTM H 5001 に準拠する吸着試験の概要図を図 1-28 に示す。なお、試験は７日間行った。

チャンバーに導入する汚染ガスは、ホルムアルデヒド吸着試験はホルムアルデヒド単独のガスで、VOC 吸着試験は５種類の VOC を同一濃度で混合したガスを用いた。

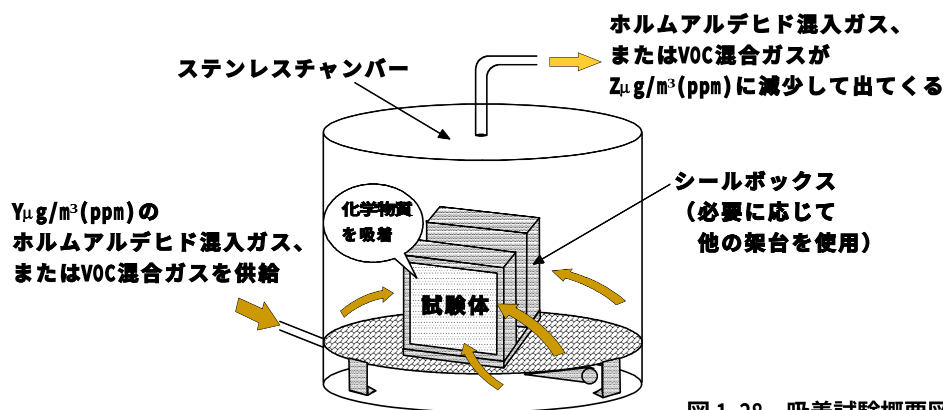


図 1-28　吸着試験概要図

試験結果は、「吸着率[%]」、「吸着速度[μg/(m²•h)]」という数値で求められる。前者は図中における Y に対する Z の割合であり、後者は１時間あたり１平方メートルの試験体にどのくらいの量の化学物質が吸着されたかを示す値である。

(3) 脱着試験

放散、吸着試験に続けて脱着試験を行った。試験方法は放散試験と同様である。ただし、この試験では吸着性能測定後の化学物質の再脱離を確認するためであり、放散試験と区別するために試験結果を「脱着速度［μg/(m²•h)]」として表す。

3-4 試験結果

試験結果を、図 1-29～1-35 に示す。なお、別の装置を使用したため、ホルムアルデヒドと VOC5 物質は別のグラフとして表示している。

(1) ホルムアルデヒドについて

・せっこうボード、レース製カーテンに少量の放散があった。
・全ての試験体について、幅はあるが吸着性能が認められた。
・吸着建材である炭ボードは、吸着試験期間を通して 8 割強の吸着率を維持し続けた。
・せっこうボードは、吸着試験中に性能が半減した。また、少量の脱着がみられた。
・カーペットは炭ボードに次いで高い吸着率(約 7 割)を示したが、少量の脱着があった。

(2) VOC５物質について

・いずれの建材も、VOC５物質は測定期間を通して不検出であった。
・炭ボードが突出した吸着性能を示した。測定期間を通して約 8 割を吸着し、脱着も検出されなかった。
・カーペットが、パラジクロロベンゼンに関して 1 日目に約 3 割の吸着率を示したが、吸着は初期のみにとどまった。また、脱着もみられたので化学物質を保持する能力は十分では無いと推測される。
・せっこうボード、布製カーテン、レース製カーテンについては、ホルムアルデヒドに対する場合とは違って、VOC に対してはほとんど吸着性能を示さなかった。

参考文献

1) JIS A 1901「建築材料の揮発性有機化合物(VOC),ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法－小形チャンバー法」(財団法人　日本規格協会)
2) JSTM H 5001「小形チャンバー法による室内空気汚染濃度低減建材の低減性能試験方法」(財団法人　建材試験センター)
3) 桑沢保夫「室内空気汚染の測定法」：シックハウス総プロ発表会（国土交通省国土技術政策総合研究所）

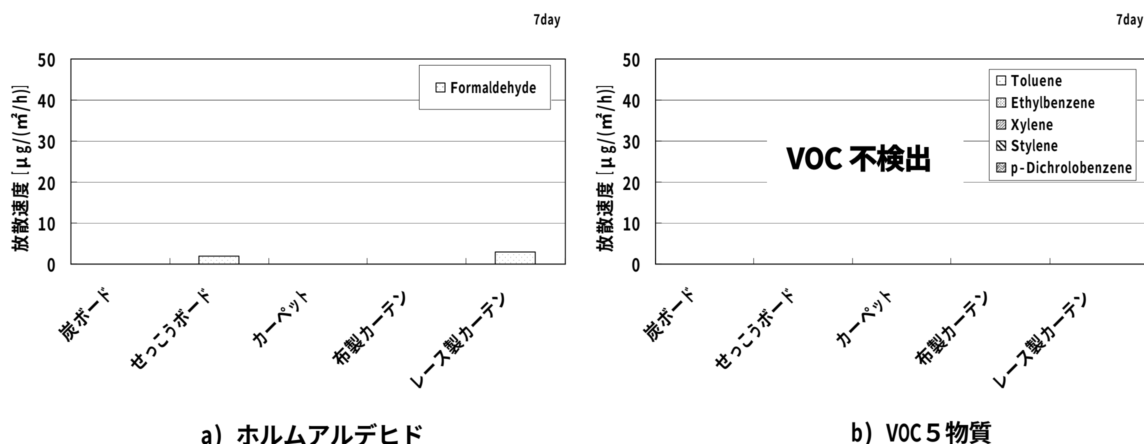
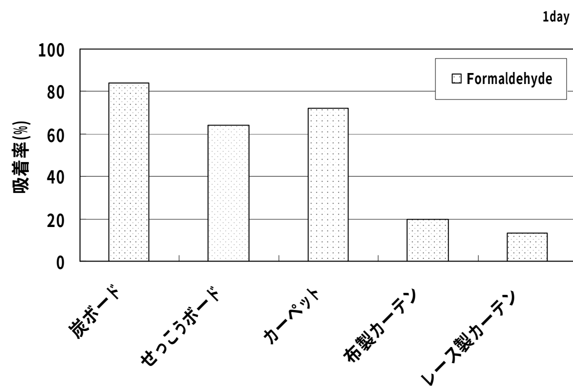
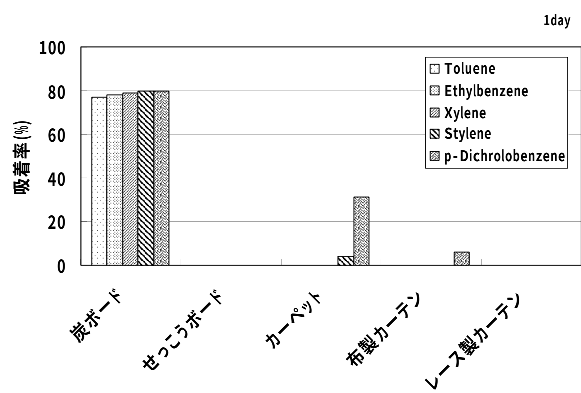


図 1-29　放散速度の比較（7 日目）

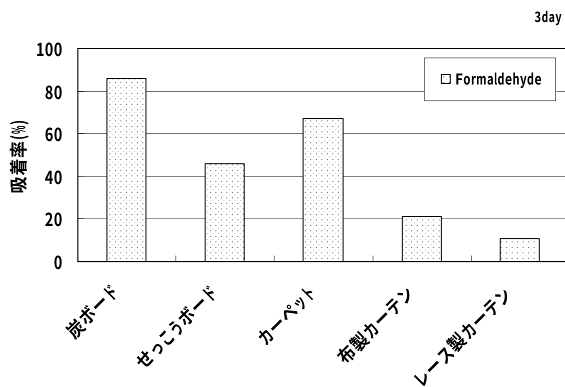


a）ホルムアルデヒド

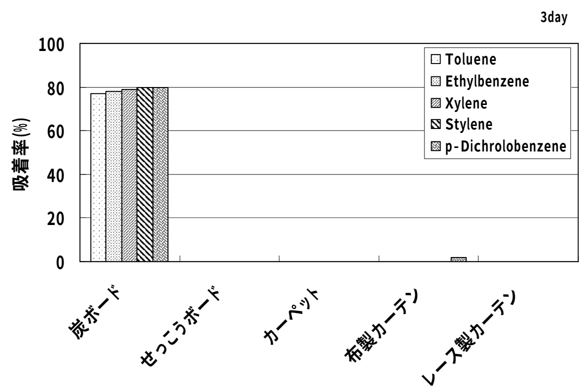


b）VOC５物質

図 1-30　吸着率の比較（1 日目）

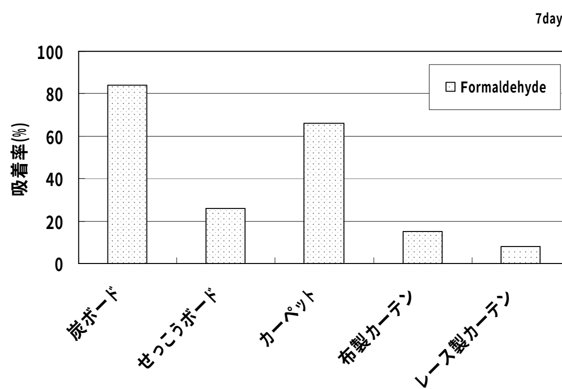


a）ホルムアルデヒド

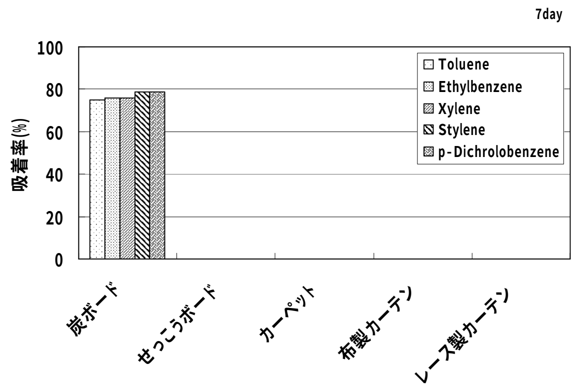


b）VOC５物質

図 1-31　吸着率の比較（3 日目）

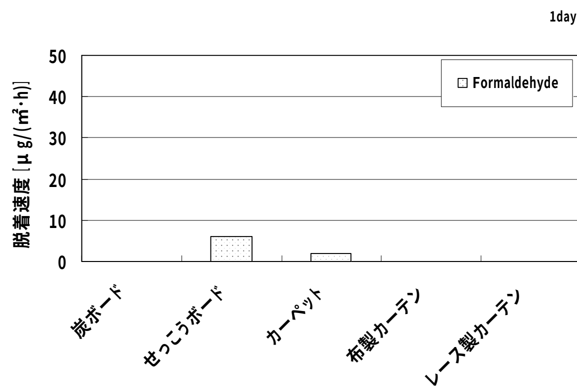


a）ホルムアルデヒド

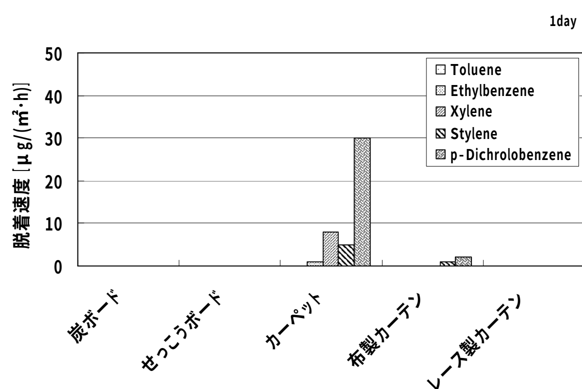


b）VOC５物質

図 1-32　吸着率の比較（7 日目）

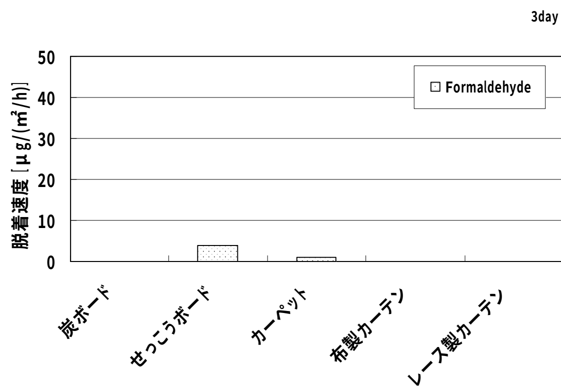


a) ホルムアルデヒド

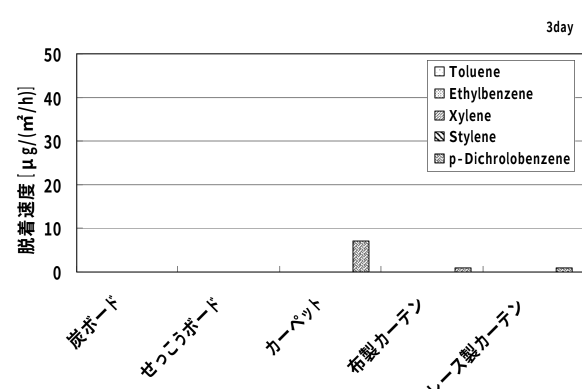


b) VOC５物質

図 1-33　脱着速度の比較（1 日目）

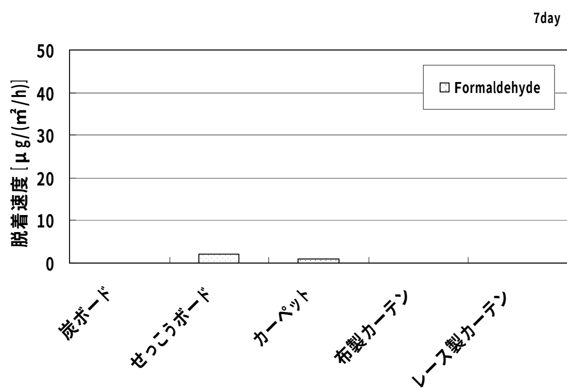


a) ホルムアルデヒド



b) VOC５物質

図 1-34　脱着速度の比較（3 日目）



a) ホルムアルデヒド



b) VOC５物質

図 1-35　脱着速度の比較（7 日目）

第２章　適切な換気経路を確保するための方策の検討

１．　天井裏等からの汚染物質の室内侵入に関する研究

～ 木造スライスモデルの相当隙間面積の測定結果 ～

1-1 はじめに

シックハウス予防策の一環として、建築材料から放散する化学物質による室内空気汚染の対策が進められている。既往の研究において、戸建住宅を対象に内部建材からの化学物質放散が室内空気質に与える影響を指摘し、その影響は換気方式によって左右されることを以下のように示した。

第 3 種換気を用いた住宅に主に見られる室内が負圧となる場合に、天井裏、床下、壁内等の内部空間から室内に向けて隙間通気が発生し、これらの内部空間で発生した化学物質が室内に侵入すると考えた。実験住宅でホルムアルデヒドを対象にした測定を行い、侵入の存在を確認した。さらに、内部空間での発生量に対する侵入量の比を侵入率κとし、室内が負圧になるほど侵入率κが高くなることを、部分構造モデル等によって確認した。

これらの侵入対策として、内部空間での発生量抑制、換気設計配慮、侵入経路の遮断などが考えられるが、これらの対策を効果的に行うためには、発生源から室内までの侵入経路の把握が望まれる。本研究では、一般的な在来木造における侵入経路を明らかにするために、内部空間相互及び内部空間と室内空間との間の隙間量を測定し、さらに実建物における侵入性状を把握することを目的とする。

1-2 スライスモデルの概要と気密性能

(1) スライスモデルの概要

宮城学院女子大学構造材料実験室内に、戸建住宅の内部空間の連結状態をモデル化し、主な連結の組み合わせを含んだスライスモデルを最も一般的構法である在来軸組工法によって図 2-1 に示すように建設した。

奥行き 1.35m、高さ 2.72m、幅 4.55mとし、実建物の通気性状が再現されるように適切な部位を組み込んだ。図 2-2 に、スライスモデルの断面構成を示すが、断熱気密性については、Ⅳ地域以南における一般的な仕様とし、気密フィルムは使用していない。事前に、全国の工務店の仕様に関する詳細断面に関するアンケート及びヒアリング調査を実施し、その結果を参考に断熱気密仕様を想定した。なお、高さ方向の制約のために、梁下天井間を約150㎜とし天井断熱材を 50㎜とした。図 2-3 に示すように、前面及び背面に透明版を用い切断部の間は完全に気密化した。室内空間には攪拌用ファンを設置し、透明版面にはスリーブを設け、ファンによる加減圧、気圧、濃度等の測定に使用した。

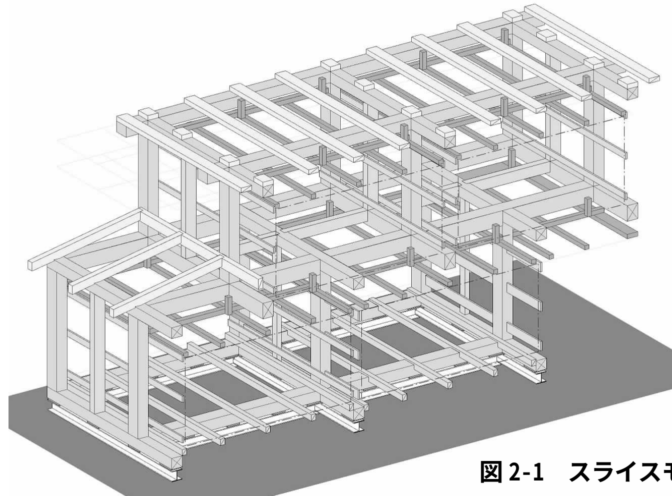


図 2-1　スライスモデルの軸組構造

(2) スライスモデルの気密性能

はじめに、室内空間と外気の間の隙間量を測定した。4 室にファンと可変通気抵抗を設置して、4 室の気圧が一致するようにしながら、風量をトレーサーガス一定濃度法（SF6）によって測定した。気圧を 5 段階に変えて測定を行い、内外差圧と風量の関係から通気率、N 値、相当隙間面積を求めた。トレーサーガス濃度の設定値を 5ppm に設定し、差圧を 2.5mmAq 以下の範囲とした。各室の相当隙間面積は、0.14～0.88 と非常に小さく、その中では 1 F 右和室が最も大きかった。室内と内部空間の間の層（内装面に沿った層）の気密性が非常に高くなっていることが明らかとなった。実際の住宅においては、この内装面にコンセントやスイッチなどの隙間要因があるが、スライスモデルではこれらの隙間要因がないために気密性能が高くなったと考えられる。この状況は、以後の内部空間に関する相当隙間面積の測定には影響がないと考えられる。

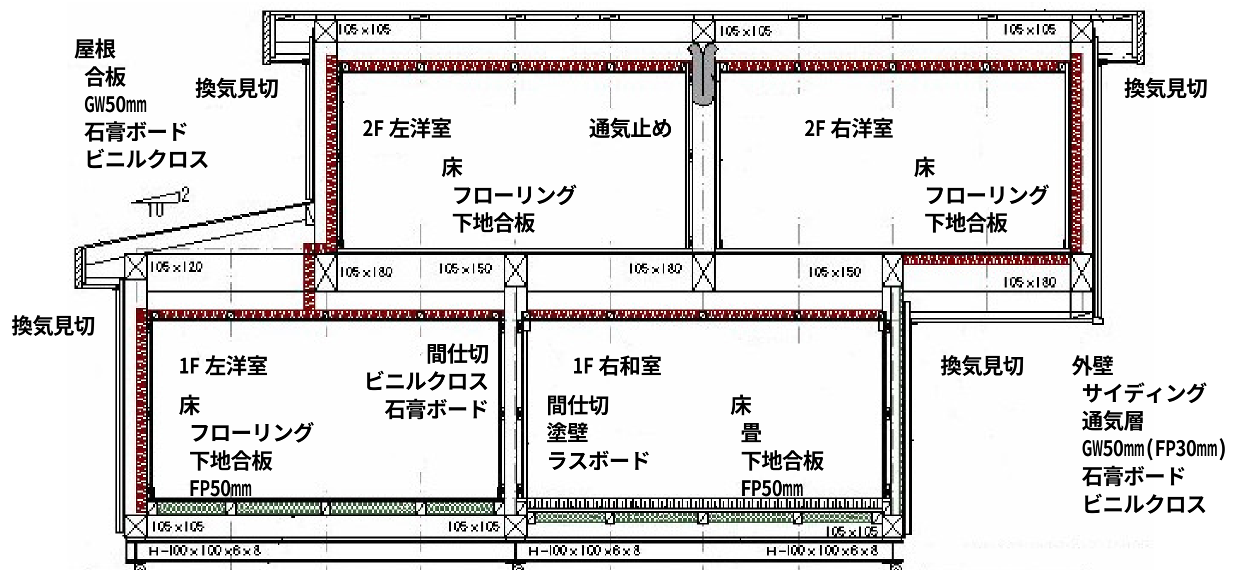


図 2-2　スライスモデルの断面概要

表 2-1　室の相当隙間面積

	1F左洋室	1F右和室	2F左洋室	2F右洋室
相当隙間面積 (cm²)	0.42	0.88	0.14	0.15
N値	1.2	1.3	1	1

1-3 内部空間における相当隙間面積の測定

(1) 測定の手順と方法

複数の空間が隙間で連結している場合、特定の空間間の相当隙間面積を測定するために、空間の気圧を調整する方法を用いた。図2-3のような4つの空間の場合、空間A－空間B間の相当隙間面積(通気率、N値)を測定する場合には、次の手順で測定する。
①空間Bを外部に開放し基準圧と同じにする。②空間Aにファンで給気し空間Aの気圧を高くする。③空間C、D、Eにもファンで給気し可変通気抵抗によって空間Aと同じ気圧にする。④空間Aへの給気風量をトレーサーガス一定発生法によって測定する。⑤以上の方法で、空間Aと空間Bの気圧差と風量を3～5段階について測定し、通気率、N値、相当隙間面積を算出する。



写真 2-1　スライスモデルの外観

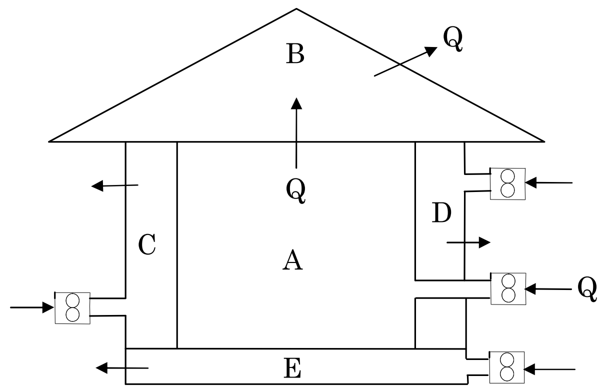


図 2-3　相当隙間面積の測定方法

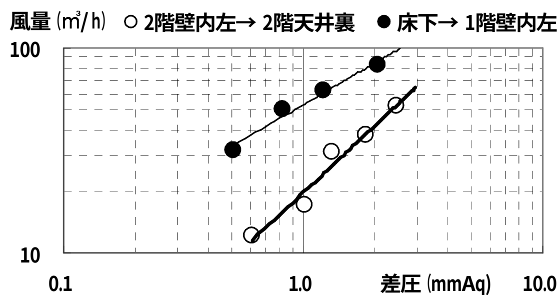


図 2-4　差圧と風量の関係の例

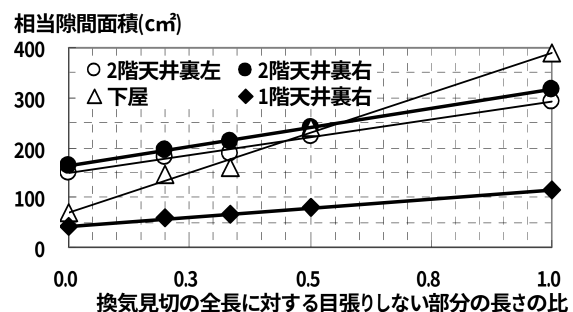


図 2-5　天井裏と外部の間の相当隙間面積

表 2-2　天井裏と外部間の通気率測定結果

相当隙間面積(cm²)	2階天井裏左	2階天井裏右	下屋	1階天井裏右
換気見切	143	155	319	74
隙間	155		71	43

図2-4に、2階壁内左と2階天井裏の間、床下と1階壁内左の間の差圧と風量の測定結果例を示す。複数の空間の気圧を一致させるために、複数の可変通気抵抗の調整を行う必要があるが、一つの空間の可変抵抗を調整すると、他の空間の気圧が変化することになるため、完全に気圧を一致させることは簡単ではない。このため、0.03mmAq の空間間の気圧差を許容して測定を行うこととした。差圧と風量は、両対数上で大略直線上に分布した。

天井裏と下屋には、軒裏換気見切が設置されている。これらの空間については、換気見切と隙間それぞれの相当隙間面積を把握するために、換気見切をテープで目張りして測定を行った。図 2-5 に、換気見切の全長に対する目張りしていない部分の比と通気率の関係を示す。換気見切の解放長さと共に通気率が増大する傾向を示し、測定結果は直線上に分布した。この切片値が換気見切以外の隙間の通気率となり、換気見切全開時の通気率と切片値の差が、換気見切の通気率に相当する。表 2-2 に、換気見切と隙間の相当隙間面積を示す。なお、2 階天井裏の隙間については、左右についての相当隙間面積測定結果の平均値とした。

(2) 測定結果

図 2-6 に、相当隙間面積の換算結果の一覧を示す。スライスモデルの全体的な特徴は、室の相当隙間面積が非常に小さいのに対して、各内部空間相互の相当隙間面積が比較的大きいことである。内部空間毎の相当隙間面積については、以下のような状況であった。

①1 階の間仕切、外壁と 1 階天井裏の間

1 階の間仕切、外壁と 1 階天井裏の間の相当隙間面積は非常に大きく、それらの連続性が強い。間仕切と天井裏の間は本測定法の測定可能範囲（最大のファン:400㎥/h で差圧が 1㎜Aq 以上）を超え、目視でも、通気止が無く、105㎜ 巾の通気経路となっている。1 階の下屋部の外壁（図 2-6 中の 1 階壁内左）と 1 階天井裏の間は、48 ㎠/m であった。目視では、外壁と天井の断熱材の重なり方の微妙な影響を受ける状況であり、施工による多様性が考えられる。

②1 階天井裏(階間)の外周

階間と下屋及び階間と軒裏の間は、奥行き 1m 当たりの相当隙間面積がそれぞれ 119、253 ㎠/m と大きかった。特にテープやシートなどによる気密工事が行われておらず、下屋側については、外壁の断熱材と梁上面の間と天井断熱材と梁下面の間の隙間が通気経路となっている。軒裏側は、写真 2-2 に示すように 1 階和室外壁（図 2-6 中の 1 階壁内右）のスチレンボードと梁下の間に 2㎝ 程度の通気経路がある。

③2 階の間仕切、外壁と 2 階天井裏の間

2 階の間仕切の上部は、7 ㎠/m と比較的小さく、写真 2-3 に示す断熱材による通気止がある程度働いている。2 階外壁上部（図 2-6 中の 2 階壁内左と同右）は、それぞれ 10、25 ㎠/m で比較的小さくなっており、外壁断熱材と天井断熱材が重なると共に、外壁断熱材が外周梁に押しつけられて、ある程度の通気抵抗になったと考えられる。

④間仕切の下部

1 階と 2 階の間仕切（図 2-6 中の 1 階壁内中、2 階壁内中）の下部は、気密性が高く風量測定可能範囲内になかった。写真 2-4 に示すように床下地合板の先貼りによって、隙間がほとんど無くなっていたと考えられる。

⑤下屋と 1 階天井裏の間

2 階の外壁と下屋の間の隙間は非常に大きく、測定可能範囲を超えていた。外壁の断熱層と下屋の天井裏空間が連結されているためと考えられる。外壁の防水透湿層が、下屋屋根の防水層に繋がり、その下の下屋天井裏に伸びていないため、下屋の天井裏と 2 階外壁断熱層が連続していることが主な原因であると考えられる。

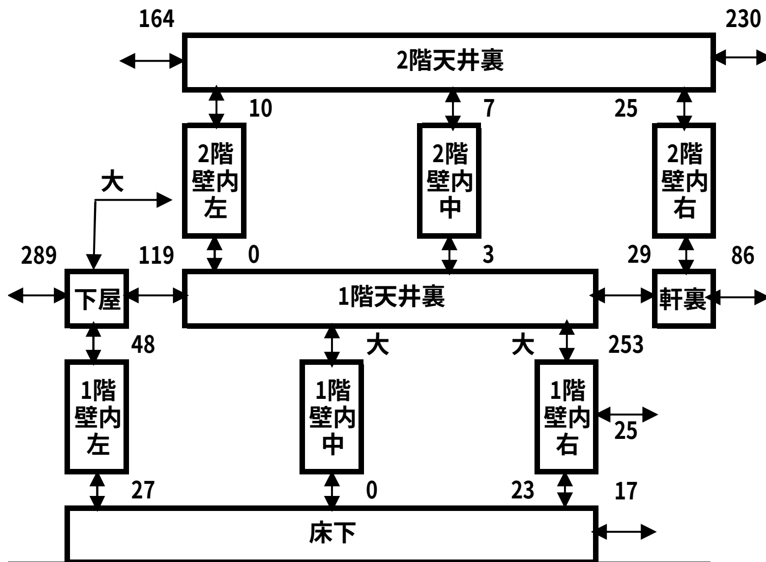


図 2-6　奥行 1m 当たりの各部の相当隙間面積(cm^2/m)



写真 2-2　1 階天井裏と軒裏の間の隙間



写真 2-3　2 階間仕切上部の通気止



写真 2-4　間仕切下部の床下地合板の先貼り状況

1-4 おわりに

在来木造のスライスモデルを作成して、内部空間相互の相当隙間面積の測定を行い、内部空間の連結状況に関する基礎データを取得した。内分空間相互の連結は強く、内部空間で発生した物質が他の内部空間に拡散する可能性があることが確認された。今後、断熱気密仕様などの他仕様、他工法のデータを入手し、実物の形状における侵入性状を、基礎データを用いた換気回路網計算によって示す予定である。

［参考文献］

1) 本間義規，鈴木大隆，坂本雄三，広田誠一，福島明：戸建て住宅の基礎断熱工法に関する研究その 10　プラットホーム床面の隙間測定と間仕切壁の通気・隙間特性，日本建築学会学術講演梗概集、D-2 分冊 p.35，1999

2) 林基哉，大澤元毅:内部建材の化学物質放散が室内空気質に与える影響　第 3 種換気システムを用いた戸建木造住宅に関する基礎実験,日本建築学会環境系論文集　NO.573　P.63　2003 年 11 月

２． 天井裏等からの汚染物質の室内侵入に関する実証実験

～ 実建物を対象にした 2004 年度測定結果の概要 ～

2-1 はじめに

天井裏などの内部空間から化学物質の室内への侵入の実態について、実建物を用いた測定を 2003 年度に続いて実施した。2003 年度には、在来木造と 2“×4”の住宅をそれぞれ 1 件について、侵入程度を示す侵入率κをトレーサーガスを用いて測定した。2004 年度は、在来木造 4 件、RC 集合住宅 4 件を対象に同様の測定を行った。

2-2 侵入率の考え方と測定方法

(1) 侵入率の考え方

図 2-7 に示すように、内部空間及び室内で異種のトレーサーガスを一定発生させて第 3 種換気又は第 1 種換気を行い、排気のトレーサーガス濃度を測定する。室内からの漏出がないこと、又は、攪拌が十分であり室内空間に濃度ムラが無いことを前提にすると、以下のように侵入率（内部空間で発生したトレーサーガス量に対する室内に侵入するトレーサーガス量の比）が算出される。

$\kappa = C_1 \cdot m_2 / (C_2 \cdot m_1)$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 数式 1

C_1, C_2：トレーサーガス濃度（－）　m_1, m_2：トレーサーガス発生量

侵入率が測定されれば、内部空間で発生する化学物質発生量の想定値を用いて室内への侵入量が求められ、さらに換気量を用いて室内濃度が算出されることになる。

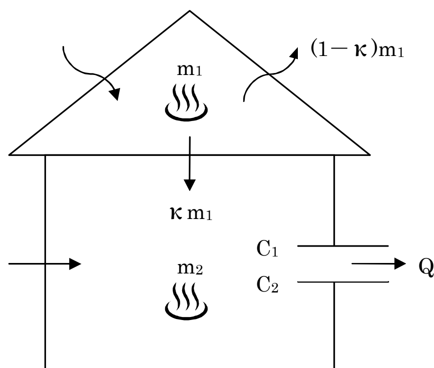


図 2-7 侵入率の考え方

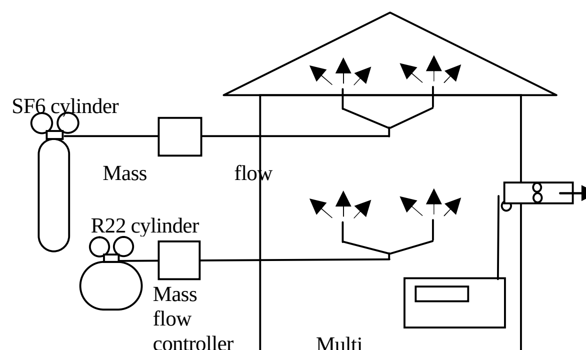


図 2-8 侵入率の測定システム

(2) 測定方法

SF6 と R22 のいずれか一方を内部空間で、他方を室内で同時に発生させた（図 2-8）。内部空間の一つである床下へのトレーサーガスの供給は、床下点検口や床下収納を利用し（写真 2-8）、天井裏への供給はダウンライトや浴室などの点検口を利用して行った（写真 2-9）。トレーサーガス濃度の測定は、複数の排気口から同一長さのシリコンチューブで混合採気して、光学式濃度計（INNOVA 社マルチガスモニター）で濃度分析を行う方法によった。発生量はマスフローコントローラーで設定することで把握した。トレーサーガス漏出の影響を予防するために、ボンベとマスフローコントローラーは基本的には屋外に設置した（写真 2-6）。また、各室の屋内建具を開放して発生箇所にファンを設置しトレーサーガスの攪拌を行った。以上によって、2 種のトレーサーガス濃度と発生量を把握し、数式 1 を使って侵入率を算出した。



写真 2-5　測定システムの設置状況



写真 2-6　ボンベ等の設置状況



写真 2-7　各室の攪拌用ファン

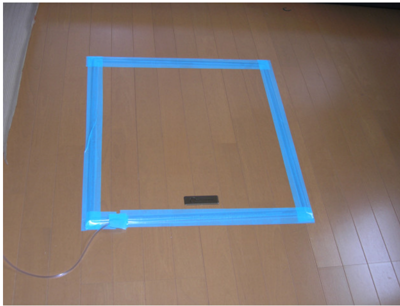


写真 2-8　床下発生チューブの設置



写真 2-9　天井裏発生チューブの設置



写真 2-10　排気口でのサンプリング

2-3 測定対象と測定結果の概要

(1) 測定対象

戸建住宅の測定対象は、宮城県内の築後約 1 年から竣工前後の在来木造住宅であり、断熱気密仕様は、公庫のⅢ地域仕様に準じている。4 物件の内の 1 件は、2 階建てのメゾネットタイプのアパートであり、他 3 物件は 2 階建ての個人住宅である。

RC 集合住宅の測定対象は、岩手県の盛岡近郊の 4 階建て集合住宅、宮城県仙台市内の 7 階建ての分譲住宅、6 階建て東京都内の集合住宅である。いずれの対象建物においても、RC 躯体の内側に断熱層を持ち、床下（フロアー下）及び天井裏空間を持っている。住戸は中間階の場合には、上下に RC スラブがあり、最上階の場合には下部に RC スラブ、上に屋根のスラブがある建物であり、住戸は壁とこれらのスラブによって囲まれている形になっている。床下と天井裏は縦ダクトスペースによって繋がっている。内部空間は、点検口、ダウンライト、スイッチ、コンセントの隙間によって室内空間と連結されている。従って、実質的には気密層が RC の躯体に一致している状況となっていると考えられる。6 階建の東京都内の集合住宅においては、縦ダクトスペースと室内の間に設けられた通気口によって内部空間は室内空間に意図的に開放されている。

戸建住宅(一般的在来軸組工法 4 戸)　　集合住宅(鉄筋コンクリート造､4 住戸)



船岡　松島



仙台　仙台



盛岡　東京

写真 2-11　測定対象建物の外観

（2）測定結果

①概要

測定結果について戸建住宅の例（松島）を以下に示す。測定期間のトレーサーガス濃度の推移を図 2-9 に示す。R22 を室内で 5.0(ml/min)で発生させ、実験 1 では SF6 を天井裏（階間）で、引き続いて実験 2 では床下で 5.0(ml/min)で発生させた。室内空間と内部空間の発生量が同じであるため、侵入率は数式 1 において、$\kappa = C_1 / C_2$ となり、室内で発生させたトレーガス濃度に対する内部空間で発生させたトレーサーガス濃度の比となる。同図に示すように、内部空間で発生させた SF6 濃度は、実験 1 では 1.0～1.8ppm の範囲を推移し、実験 2 でははじめには濃度が低下して安定したがその後 0.1～0.7ppm の範囲を推移した。いずれの場合も定常濃度へ漸近する性質と外部風及び内外温度差の影響によって、濃度が推移したと考えられる。この濃度変化から基本的には最終段階の濃度を安定濃度（数式 1 における C_1, C_2）として、侵入率 κ の算出を行った。なお、外部風の影響などで濃度が変化している場合には、侵入率の算出を行わなかった。侵入率の換算結果を表 2-3 に示す。

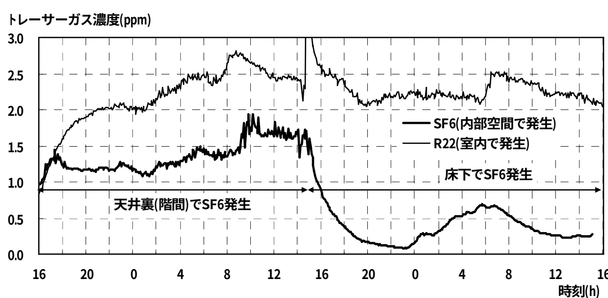


図 2-9　測定期間のトレーサーガス濃度推移（松島）

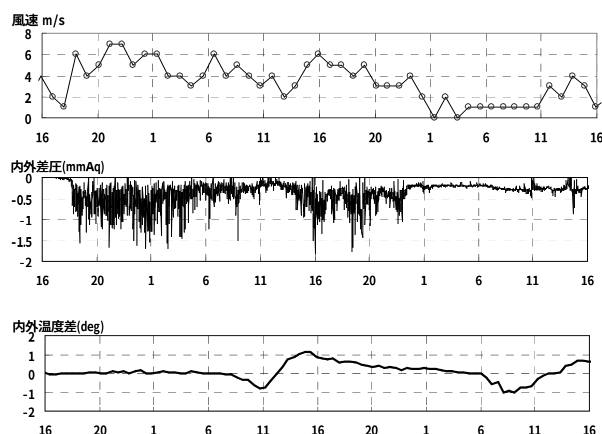


図 2-10　測定時の外部風速（AMEDAS）、内外差圧、内外温度差の推移

以上のような分析方法に基づいて、本測定対象における測定データを分析した結果を表 2-3 に示す。

②戸建住宅(一般的在来軸組工法 4 戸)の測定結果より得られた知見

- ✧ 相当隙間面積：C 値は、1.2～4.2 c㎡／㎡であり、気密住宅の範囲にあった。
- ✧ 第 3 種常時換気設備が設置されており、個室に給気ファンが設置されている住宅も含まれるが、侵入率の測定は第 3 種換気の状況で行い、内外差圧は、-0.25～-0.06㎜Aq であった。
- ✧ 天井裏（階間）からの侵入率は、67～100%、床下からの侵入率は、14～80%であった。

③集合住宅(鉄筋コンクリート造、4 住戸)の測定結果より得られた知見

- ✧ 相当隙間面積：C 値は、0.75～1.2c㎡／㎡であり、気密性が非常に高かった。
- ✧ 第 3 種換気設備が設置されており、侵入率の測定は第 3 種換気の状況で行い、内外差圧は、-2.0～-0.3㎜Aq であった。特に仙台の物件では、高い気密性によって内外の気圧差が 2㎜Aq と大きかった。
- ✧ 天井裏からの侵入率は、10～100%、床下からの侵入率は、50～100%であり、物件による差が大きかった。

- ✧ 天井裏は、RC 構造体に囲まれており、外気への開放が意図的には行われていないため、侵入率が高くなると考えられた。特に仙台の物件で測定結果において侵入率が低くなったが、その原因としては、換気システムの排気系（ダクトやファン本体による通気経路）への天井裏からの漏出による天井裏からの直接排気の影響が要因として考えられる。
- ✧ 東京の物件の 4 階では、風量測定結果で、排気風量:58m³/h に対してトレーサーガス法による換気量が 80 m³/h 以上になっており、この差が換気システムの排気系（ダクトやファン本体による通気経路）への天井裏からの漏出による天井裏からの直接排気によって生じたと考えられる。

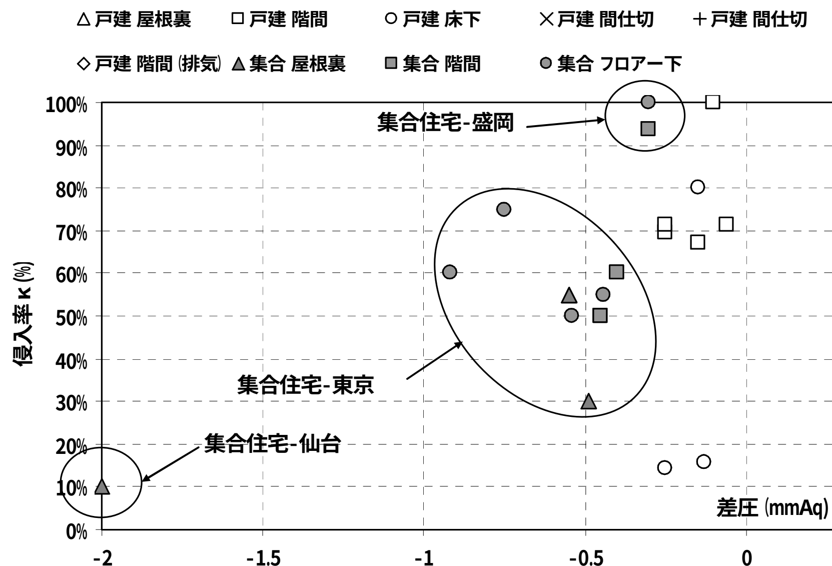


図 2-11　RC 酒豪住宅における侵入率の測定結果）

④戸建住宅についての既往の結果（シックハウス総プロ及び 2003 年度測定）と本測定結果との比較

- ✧ 内外差圧（図中の横軸）が低くなると共に、侵入率が高くなる傾向は、既往の測定結果と合わせるとより明確に見られる。また、内外差圧が-0.4mmAq よりも下回る範囲で、天井裏及び屋根裏からの侵入率が 50%以下の測定結果が無い状況となっている。
- ✧ 床下からの侵入率はほとんどの場合に 20%以下であり、他の部位よりも低い。これは、床下換気口によって外気に開放されていることによると考えられる。しかし、基礎断熱の住宅や基礎パッキンを用いた床断熱の住宅の一部では、侵入率が 40～80%の範囲で比較的高くなっている。
- ✧ 天井裏（階間）からの侵入率は、内外差圧が正の値の場合（室内が正圧の場合）を除いて、70%以上の高い値を示している。既往の測定結果と同様に本測定でもこの状況が確認された。

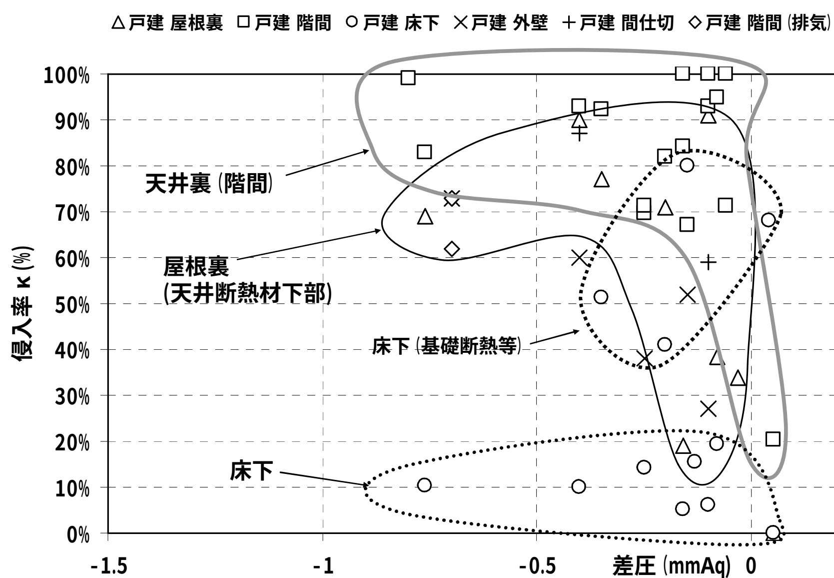


図 2-12　既往の測定結果との比較

表 2-3　侵入率の測定結果一覧

測定対象	延床面積(㎡)	C値(c㎡/㎡)	換気	箇所	内外差圧(mmAq)	換気回数(1／h)	換気量(m³/h)	侵入率κ(%)
戸建-在来工法(船岡)	161	3.5	第3種	階間	-0.06	0.55	214	71%
戸建-在来工法(八乙女)	128	1.6	第3種	床下	-0.13	0.31	94	16%
			第3種	階間	-0.10		100	100%
戸建-在来工法(松島)	126	2.9	第3種	階間	-0.25	0.43	130	70%
			第3種	床下	-0.25		143	14%
			第3種	階間	-0.25		143	71%
アパート-在来工法(八乙女)	54	4.2	第3種	階間	-0.15	0.51	65.5	67%
			第3種	床下	-0.15			80%
RC集合住宅4F中間部最上階（盛岡）	74	1.2	第3種	階間	-0.30	1.06	188	94%
			第3種	床下	-0.30			100%
RC集合住宅7F端部最上階（仙台）	54	0.9	第3種	階間	-2.00	0.66	85	10%
RC集合住宅4F中間部中間階（東京）	67	0.75	第3種	階間	-0.40	0.53	86	60%
			第3種	床下	-0.75		82	75%
			第3種	階間	-0.45		87	50%
			第3種	床下	-0.44		84	55%
			第3種	階間	-0.45		81	50%
RC集合住宅6F中間部最上階（東京）	67	0.83	第3種	屋根裏	-0.49	0.56	90	30%
			第3種	床下	-0.92		156	60%
			第3種	屋根裏	-0.55		144	55%
			第3種	床下	-0.54		122	50%
			第3種	屋根裏	-0.55		152	55%

第３章　換気計画法の確立に関する検討

１．　住宅用換気システムの風量測定に関する研究

～ 端末部材におけるフード式風量測定器の測定精度に関する実験 ～

1-1　はじめに

住宅用換気システムにおいて、設計風量が確保されていることの確認には、現場における風量測定が不可欠である。風量測定には、様々な風量測定器が用いられるが、端末部材の形状や吹き出し・吸い込みの流れの方向により、風量測定器の測定精度を系統的に測定した例は少ない。

本報では、国内製の端末部材を用いた場合の風量測定器の精度検証を実験的に確認することを目的とする。

1-2　実験概要

(1) 実験装置と実験条件の概要

実験装置を図 3-1、写真 3-1 に、実験条件の概要を表 3-1 に示す。実験では国内製の端末部材を使用し、接続ダクト径がφ50mm の室内端末（既報と比較して接続計が小さい）や、外端末部材（既報では屋外端末は対象としていない）を検証部位に含めた。接続ダクト径φ50mm の端末部材は通常、使用される風量が少なく、20～30m^3/h 程度である。実験では、この風量範囲も精度良く検知するため 9～200m^3/h の測定範囲をもつ超音波流量計（流量測定精度 1%FS 以下）を使用した。

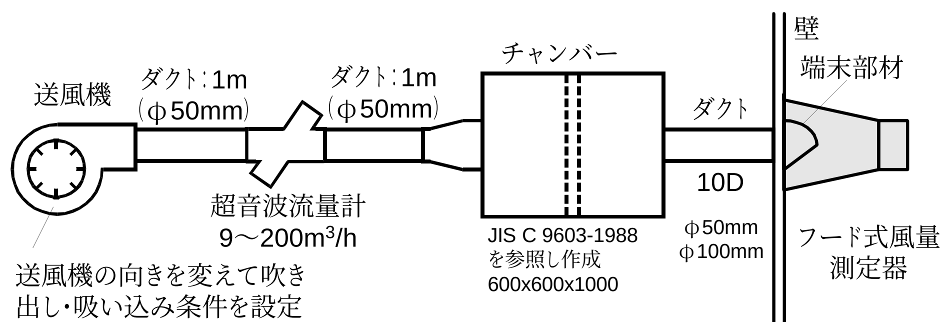


図 3-1　実験措置の概要

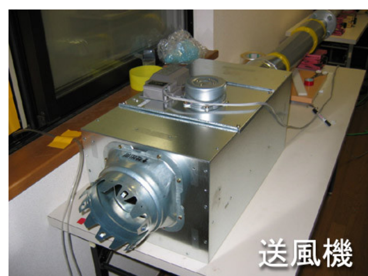






写真 3-1　実験装置

表 3-1　実験条件の概要

検証風量	：10 ㎥/h ～　50 ㎥/h（φ 50㎜ ダクト接続端末）
	：50 ㎥/h ～ 150 ㎥/h（φ100㎜ ダクト接続端末）
実験装置	：図 3-1
風量測定器	：6 種類（図 3-2）
検証端末部材	：国内製の室内端末および屋外端末（図 3-3）

(2) 検証対象とした風量測定器

検証対象としたフード式の風量測定器の一覧を図 3-2 に示す。風量検知部が熱線式の風量計を 3 種、プロペラ式を 1 種、圧力補償ファン式が 1 種、風速計式が 1 種の計 6 種類を対象とした。

[A] 熱線式風量計 測定範囲：8～450m³/h 重量　：1.7kg	[B] 熱線式風量計 測定範囲：7～230m³/h 重量　：1.75kg	[C] 熱線式風量計 測定範囲：10～300m³/h 重量　：1.6kg
[D] プロペラ式風量計 測定範囲：10～300m³/h 重量　：1.0kg	[E] 圧力補償ﾌｧﾝ式風量計 測定範囲：0～300m³/h 重量　：3.9kg	[F] 風速計式風量計 測定範囲：10～300m³/h 重量　：1.0kg

図 3-2　測定対象とした風量測定器

(3) 検証用端末部材と測定ケース

測定ケースを表 3-2 に、検証部位として設定した端末部材の分類名称と接続ダクト径を図 3-3 に示す。これら端末部材は国内で一般的に使用されている物から選出した。表 3-2 において○が付いているものが吹き出し・吸い込みとも実験を行ったケースで、△が付いている ID-100-3 は吹き出し専用端末、×が付いているケースが対象とした風量測定器のフード内に端末部材が収まらず、測定が不可であったケースを示す。

表 3-2　測定ケース

端末部材			風量測定器					
	接続径	呼称	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]
室内用	φ50 mm	ID-50-1	○	○	○	○	○	○
		ID-50-2	○	○	○	○	○	○
		ID-50-3	○	○	○	○	○	○
	φ100 mm	ID-100-1	○	○	○	○	○	○
		ID-100-2	○	○	×	×	○	○
		ID-100-3	△	△	△	△	△	△
屋外用	φ100 mm	OD-100-1	○	○	○	○	○	○
		OD-100-2	○	×	×	×	○	○
		OD-100-3	○	○	○	○	○	○

(○：測定可　△：吹き出しのみ測定可　×：測定不可)

室内端末部材	接続径φ 50 mm	ID-50-1	ID-50-2	ID-50-3
	接続径φ 100 mm	ID-100-1	ID-100-2	ID-100-3
屋外端末部材	接続径φ 100 mm	OD-100-1	OD-100-2	OD-100-3

図 3-3　検証部位とした端末部材と分類呼称

1-3 端末部材における風量測定器の精度検証実験の結果

（1）実験結果

風量測定器の測定風量と検証風量の散布図を図 3-4 に示す。図 3-4 では測定結果を ID-50、ID-100、OD-100、および全端末部材における吸い込み条件と吹き出し条件ごとに示した。また吸い込み条件と吹き出し条件ごとに全測定データの相対誤差範囲の箱ひげ図を図 3-5 に示す。図 3-5 では、実験で得られた相対誤差データの 25 パーセンタイル（第 1 四分位数）から 75 パーセンタイル（第 3 四分位数）を箱で示し、その箱からその幅の 1.5 倍以上離れたデータを外れ値と定義し、外れ値を除いた条件で最大値と最小値を示した。また表 3-3 に各測定器の相対誤差の中央値を示す。

（2）実験結果の整理

図 3-4 および図 3-5 の結果から吸い込み条件は、吹き出し条件と比較して相対誤差が小さい結果となった。既報と比較して検証風量が小さいために相対誤差は大きくなりやすいが、中央値は概ね 10%程度を示し、そのなかでも熱線式の[A]，[C]および圧力補償式の[E]が比較的よい結果を示している。一方、吹き出し条件では、多くの測定器で相対誤差が大きくなる結果となっている。図 3-5 および表 3-3 によると中央値では吸い込み条件と同様に熱線式の[A]，[C]および圧力補償式の[E]が比較的誤差が小さいが、相対誤差のばらつきは、吸い込み条件と比較して大きく、端末部材の形状により生じた偏流が影響していると考えられる。風速計を用いて、フード中央部の一点の風速測定結果から風量に換算している [F]は吹き出し空気の偏流の影響を測定面で平均的に検知することができないため相対誤差が特に大きくなっていると考えられる。そのため、吹き出し条件では、多点もしくは面で風量を検知する測定器が望ましいと考えられる。また[C]および[D]はフード部や検知部自体が他の測定器と比べて小さく、検証風量が 50㎥/h を超える ID-100 や OD-100 では測定器本体が大きな抵抗となり偏流が抑制され測定精度が吸い込みと比較して低下しにくかったと考えられる。フード寸法の小さい測定器では、ID-50 のように風量の小さい部位が適当であると考えられる。

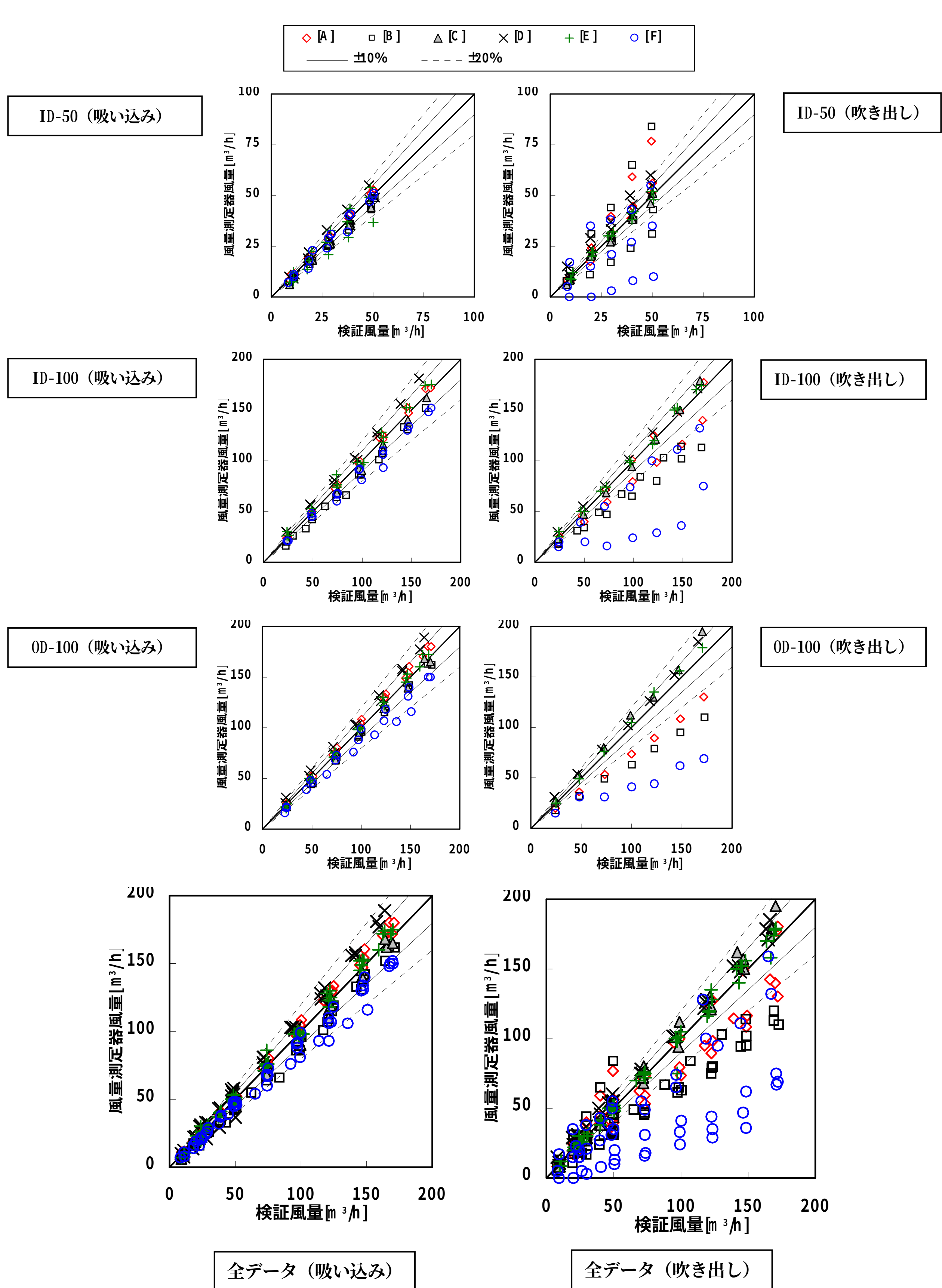


図 3-4　風量測定結果散布図

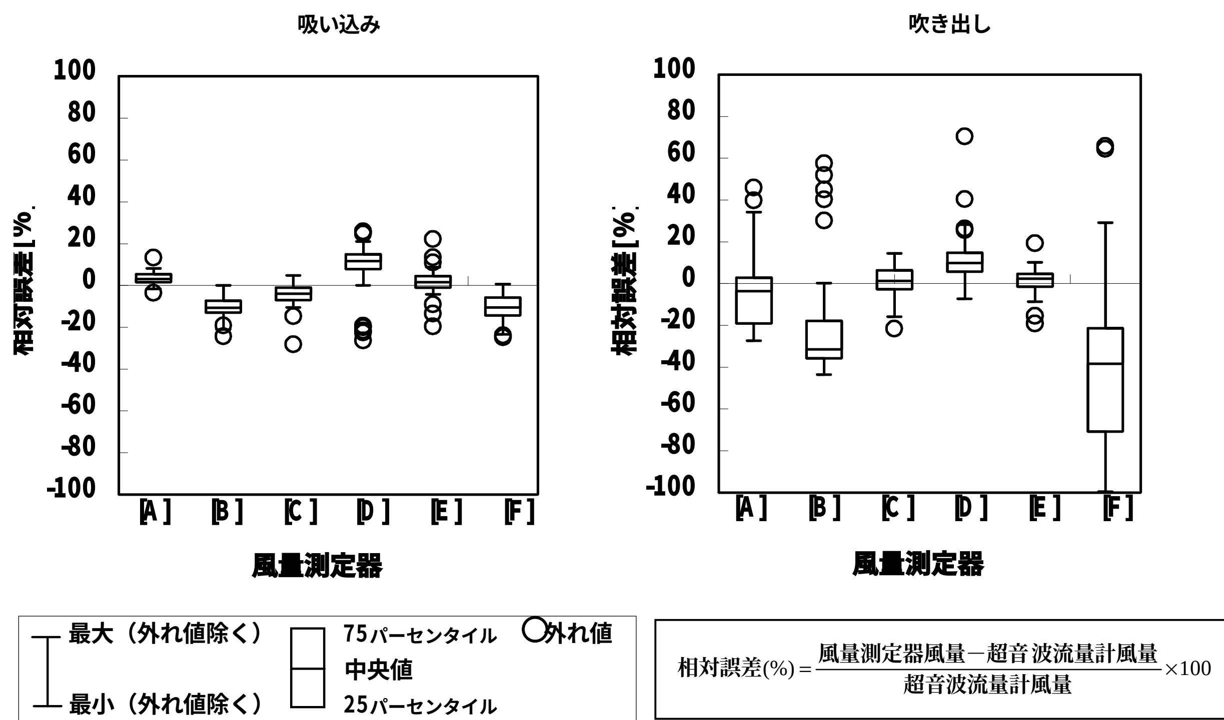


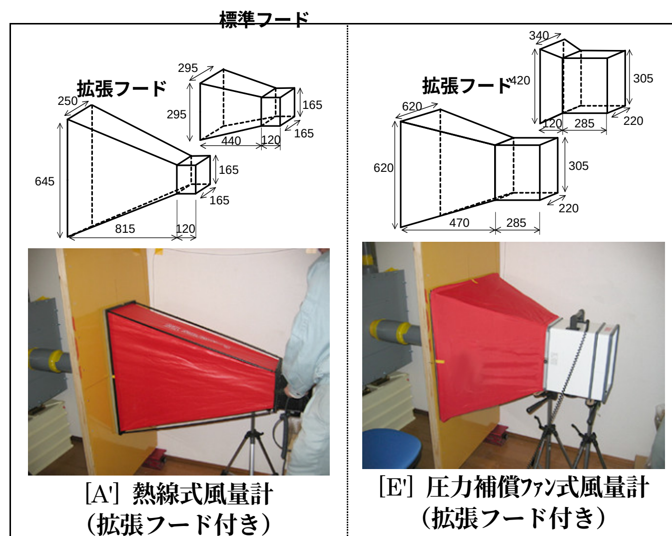
図 3-5　相対誤差の分布

表 3-3　相対誤差の中央値（図 3-5 の中央値　単位：%）

	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]
吸い込み	3.1	-10.7	-3.9	11.7	1.6	-10.5
吹き出し	-3.6	-31.4	1.3	9.9	2.4	-38.3

1-4 吹き出し条件の測定誤差低減に関する実験

前節で示したとおり吹き出し条件での測定誤差が大きい結果となったが、フード部分を大きい物に変えることで、端末部材で生じた偏流の影響を減少させる効果があると考えられる。ここでは、測定精度の比較的高かった[A]および[E]の標準フードを拡張フードに取り替えた条件（以下[A']および[E']とする。）での風量測定精度の検証を行った結果を示す。[A'] および[E'] の寸法および実験時の写真を図 3-6 に、実験ケースを表 3-4 に示す。



[A'] 熱線式風量計（拡張フード付き）
[E'] 圧力補償ﾌｧﾝ式風量計（拡張フード付き）

図 3-6 拡張フードの寸法および拡張フード設置時の写真

表 3-4 拡張フードを用いた測定ケース（吹き出し条件）

	端末部材						
	ID-50-		ID-100-		OD-100-		
	1	3	1	2	1	2	3
[A']	○	○	○	○	○	○	○
[E']			○	○	○	○	○

測定結果から得られた相対誤差の箱ひげ図を図 3-7 に示す。[A]に拡張フードを設置した条件では測定精度の向上に特に効果が大きく、図 3-7 によると、相対誤差の中央値はほぼ 0%となっている、外れ値に分類され最も誤差が大きいデータも相対誤差で 10%程度に低減されている。一方もともと精度が高かった[E]も拡張フードの設置による精度向上の効果がみられ、[A]と同様に外れ値の相対誤差も小さくなっている。

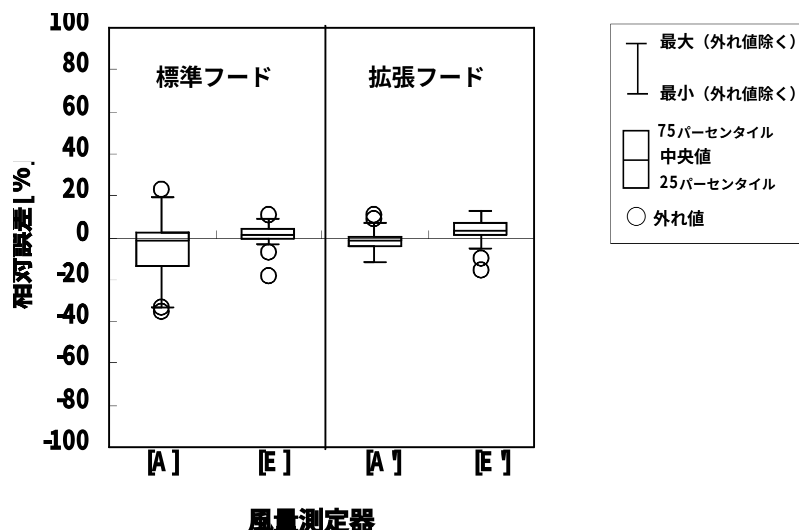


図 3-7 拡張フードを取り付けた条件での相対誤差[A]および[E]
（標準フードの結果も併記）

図 3-7 において測定精度の向上効果が大きかった端末部材における風量測定器[A]および[E]の測定風量を検証風量と比較した散布図を図 3-8 に示す。図 3-8 のように、特に風量測定器[A]では、相対誤差の平均値が 5%～20%程度減少しており、拡張フードを使用することで、吹き出し条件でも高い精度を持って風量測定が行えることが確認できた。また風量測定器[E]では、OD-100-3 を検証対象とした場合に、若干の測定精度向上が確認できる。なお OD-100-2 での検証において相対誤差の平均値が拡張フードの設置により増加しているのは検証風量 25m³/h において若干誤差が生じていたためであり、その測定点を除けば、相対誤差の平均値は 6.2%となり測定精度が向上することを示している。

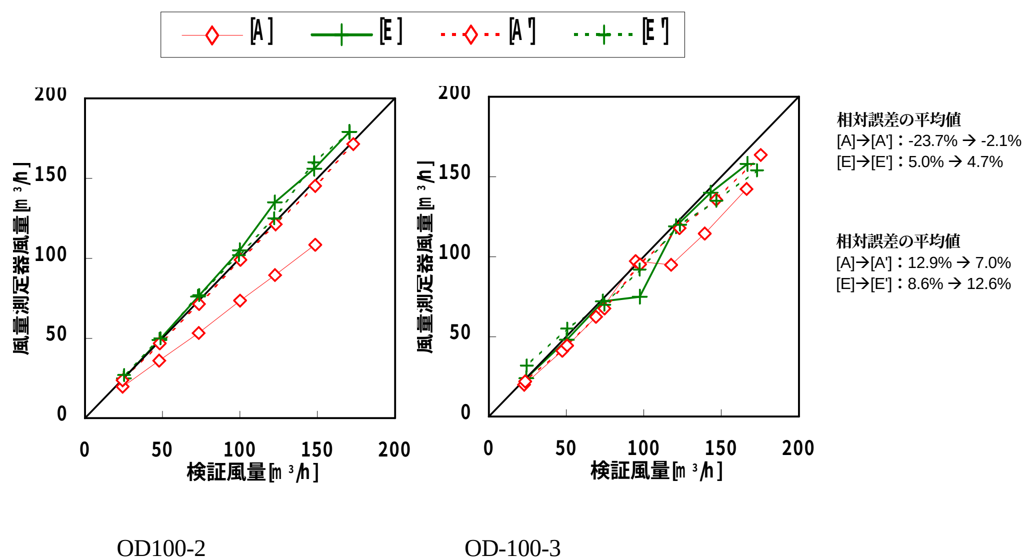


図 3-8　拡張フードの使用による風量測定結果

1-5 おわりに

フード式風量測定器を用いて国内製の端末部材における風量測定により、以下の結果を得た。

- 吸い込み条件は、吹き出し条件と比較して高精度で測定ができ、熱線式や圧力補償ファン式の測定器の精度が高かった。
- 吸い込み条件では精度の高い風量測定器では平均的に 5～10%以下程度の相対誤差となった。
- 吹き出し条件は偏流の影響が大きいと考えられ、測定精度が端末部材によって異なった。
- 吹き出し条件では、既報の海外製の室内端末と比較して、相対誤差が大きくなる傾向となった。
- 吹き出し条件では拡張型のフードを使用することで偏流の影響を抑制し、測定精度が向上することが確認できた。
- 特に吹き出し条件では、風量測定器の検知部が多点計測によるものか、面での計測によるものが精度の観点から望ましい。
- 拡張フードを用いた場合の効果は、相対誤差の平均値では 5%程度で、相対誤差が大きい場合でも 10%程度であった。

２．　住宅の現場における風量測定マニュアル　案

目次

2-1.	**はじめに** … 40

2-2.	**用語の説明** … 41

2-3.	**現場における風量測定手法についての知見** … 43

2-4.	**フード式風量測定器を用いた現場での風量測定の方法** … 53

2-4-1　**風量測定器の構成例**

2-4-2　**現場での測定**

（1）測定の準備

①換気システムおよび住宅の準備

②風量測定器の準備

③現場の確認

（2）測定方法

①吸込み端末での測定

②吹出し端末での測定

③測定が難しい部位の測定

2-4-3　**測定の記録**

2-5.	**おわりに** … 62

付録 … 63

2-1．はじめに

本書は、住宅用の換気システムを対象としたフード式風量測定器に関してまとめたものです。2003 年 7 月にわが国の建築基準法が改正され、室内空気質対策を目的として住宅にも換気システムを導入することが義務付けられました。しかしながら、新たに設置された換気システムがどのように稼動しているかに関しては、ほとんど情報がありません。これは換気システム設置後の風量測定が一般的でないことにその一因があると考えられます。また住宅用換気システムにおける風量測定自体に決まりごとがないことも遠因といえるでしょう。そこで、本書は、わが国でも比較的入手しやすい「フード式風量測定器」を用いて住宅の現場においてどのように「風量測定」するか、と「測定データのとりまとめ」はどのようにするか、について関連する情報を含めた知見をまとめたもので、様々な人が風量検証を行う場合の一助となることを目的として作成されています。上述のとおり、わが国において住宅用の全般換気の歴史は始まったばかりであり、本書は平成 17 年 3 月現在の知見に基づいて記述されています。

2-2．用語の説明

ここでは、本書で使用する用語について記します。

- **換気システムの種類**

・第１種換気設備：給気と排気の双方に送風機（給気機及び排気機）を用いるもの
　第１種換気システムともいう。
・第２種換気設備：給気のみに送風機（給気機）を用い、排気のための排気口を設けるもの
　第２種換気システムともいう。
・第３種換気設備：排気のみに送風機（排気機）を用い、給気のための給気口を設けるもの
　第３種換気システムともいう。

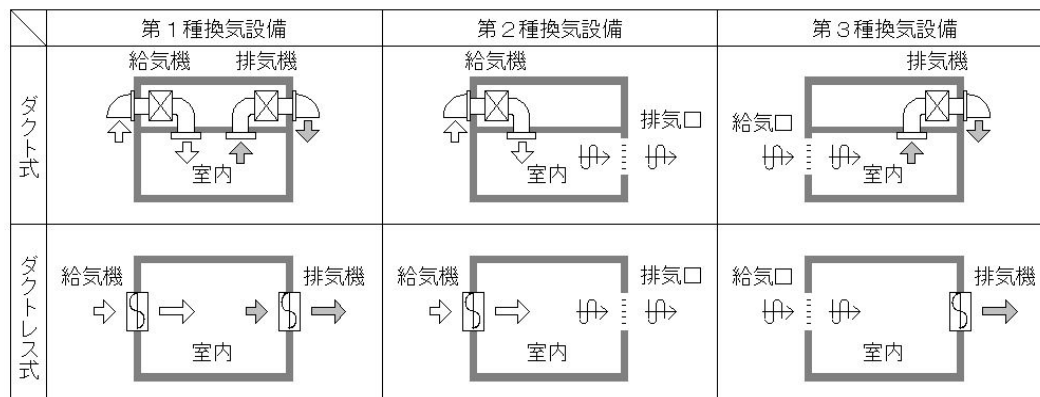


図 3-9　換気システムの種類

- **吹出し端末**

対象室（外も含みます）に空気を吹出している端末部材。外気を供給している給気口のみでなく、屋外の場合は室内から排気されるいわゆる排気口も吹出し端末に含まれる。

- **吸込み端末**

対象室（外も含みます）から空気を吸込んでいる端末部材。第３種換気システムの室内端末のみではなく、第１種換気システムや第２種換気システムの外気取り入れ端末も屋外を対象とした場合には吸込み端末に含まれる。

- **室内端末**

室内に設置されている換気システムの吹出し端末および吸込み端末。通常グリルなどと呼ばれる。

- **屋外端末**

　屋外に設置されている換気システムの吹出し端末および吸込み端末。通常はフードがついている。

- **フード式風量測定器**

　フードのついた風量測定器で風量の検知部分に風速計、プロペラなどを用いたものがある。（本書では「2-4」で、熱線式の風量検知部を有した測定器を用いた測定方法や留意点などを紹介する。）

- **誤差**

　正確な風量を基準とした場合の風量測定器の指示する値が持っている誤差で、式(2.1)で表される。また相対誤差は式(2.2)によって算出される。

$$\text{誤差}[m^3/h] = Q_m \quad Q_{ref} \qquad (2.1)$$

$$\text{相対誤差}[\%] = \frac{Q_m - Q_{ref}}{Q_{ref}} \times 100 \qquad (2.2)$$

Q_m：**風量測定器の指示値**　m^3/h

Q_{ref}：**正確な風量**　m^3/h

2-3．現場における風量測定手法についての知見

本章では、今までに得られている知見をとりまとめ、本マニュアルで主な対象としているフード式の風量測定器や関連するその他の風量測定器についてその精度について紹介します。

（1）風量測定器に関連する背景

現場における換気装置・空気調和装置の風量測定は、システムの検証方法として重要な技術であり、かつ対象とするシステムの検証を行うのに十分な精度が必要とされています。とくに住宅用の換気システムの場合、必要とされている風量が事務所や病院など他の建築と比較して小さいことから、数 m^3/h 程度の測定誤差が設計風量に占める割合は大きく、風量測定に高い精度が求められると考えられます。しかしながら風量の小さいシステムを対象とした風量測定器および風量測定技術に関して、特にわが国では多くの研究はなされておらず、住宅においても常時稼動が可能な機械換気設備の設置が義務付けられた現在、この課題は一層重要となっています。またわが国の住宅用換気システムには､施工の容易性からフレキシブルダクトを使用するケースが多く､ダクト径も φ50 mm と小さいため、この特殊性を考慮した風量測定技術が求められています。

（2）換気システムにおける風量測定方法に関するレビュー

換気装置を対象とした風量の測定方法としては、JIS A 1431 に規定されています（表 3-5）。この手法では、通常大掛かりな測定装置が必要となり、住宅の現場への適用は難しいと考えられます。

表 3-5　JIS による風量測定方法

JIS A 1431　空気調和・換気設備の風量測定方法
吹出し端末および吸い込み口にフード、ダクトおよび圧力補償用のファンを設置し、フード内と室内の静圧が等しくなるようにファン風量を制御しダクトの直管部分で風量を測定する。ダクト部分での風量測定方法は JIS B 8330「送風機の試験及び検査方法」に従い行う。

一方、住宅用換気システム設置の歴史が古く引渡し前に換気装置の風量測定が義務付けられているスウェーデンでは換気装置が設置された建築を対象として、換気システムにおける風量測定方法が文献[1]にまとめられています。そのうち特に住宅用換気システムに適用可能と考えられる方法を抜粋して表 3-6 に示します。

表 3-6　風量測定部位と測定装置（文献[1]より抜粋）

測定部位	測定装置・測定手法	風量算出法
端末部材	風速計	吹出・吸込面における風速の多点計測
	フード式風量測定器	熱線式、プロペラ式等
	圧力計	k ファクタ法
送風機	圧力計	送風機特性、k ファクタ法
ダクト	ピトー管＋圧力計	ダクト内の多点計測
	圧力計	k ファクタ法
	トレーサーガス	ガスの注入量と濃度の計測
	風速計	多点計測による算出

文献[1]ではダクトや端末部材は径がφ100 mm 以上のものを対象としており、前述のようなφ50mm の小径ダクトは対象となっていません。このような径を対象とした場合、端末部材においては「フード式風量測定器」および「圧力計」を使用する方法が、ダクトにおいては「圧力計」と「トレーサーガス」（現場では測定用の機材が多く他の測定法に比べて煩雑になる）を用いる方法が適用可能であると考えられます。

また表 3-6 において風量算出手法に記した k ファクタ法とは、換気システム部材製品に圧力差測定用の孔やチューブがついており、メーカー側が指示する風量測定点で測定された圧力差と製品に示された k 値を式(3.1)に代入することで風量が算出できる手法です。図 3-10 に給気端末部材における k ファクタ法の考え方を示します。図 3-10 では、給気端末内の一点と室内の圧力差を測定しているが、給気端末内の 2 点の圧力差を測定することで風量に換算する部材も存在します。

$$q = k\sqrt{\Delta P} \qquad (3.1)$$

k：k 値、1.0 Pa の圧力差における流量　L/s
q：風量 L/s　　ΔP：圧力差 Pa

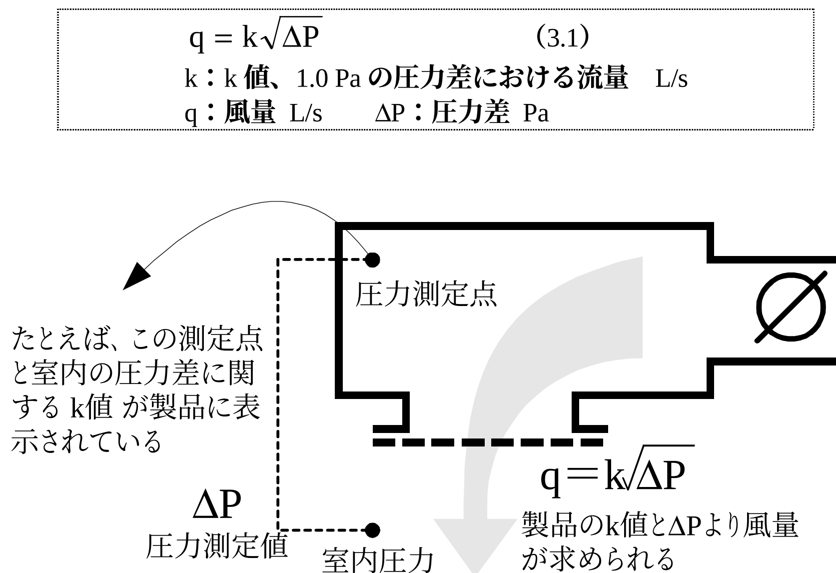


図 3-10　給気端末部材の k ファクタ法による風量算定の例

（3）端末部材における風量測定器の精度検証実験

①実験概要

上述のようにいくつかの風量測定手法が存在しますが、ここでは将来的に、わが国の住宅用全般換気システムの現場での風量測定に適用することを念頭に、6 種類の風量測定器の精度検証実験を行いました。実験概要を表 3-7 に示します。住宅の現場測定を対象とした風量測定器は国内で多くの種類を購入することは難しいため、海外製の風量測定器を購入し検証対象としました（図 3-12）。また端末部材として上記 k ファクタ法に適合した海外製のものを用いました。そのため風量検証装置のダクト径はφ100 mm としています。

表 3-7　実験概要

検証風量	：0 m^3/h、50 m^3/h、100 m^3/h、150 m^3/h
風量検証装置	：図 3-11
風量測定器	：海外製 6 種類（図 3-12）
端末部材	：海外製　給気用 4 種、排気用 7 種　（写真 3-2）

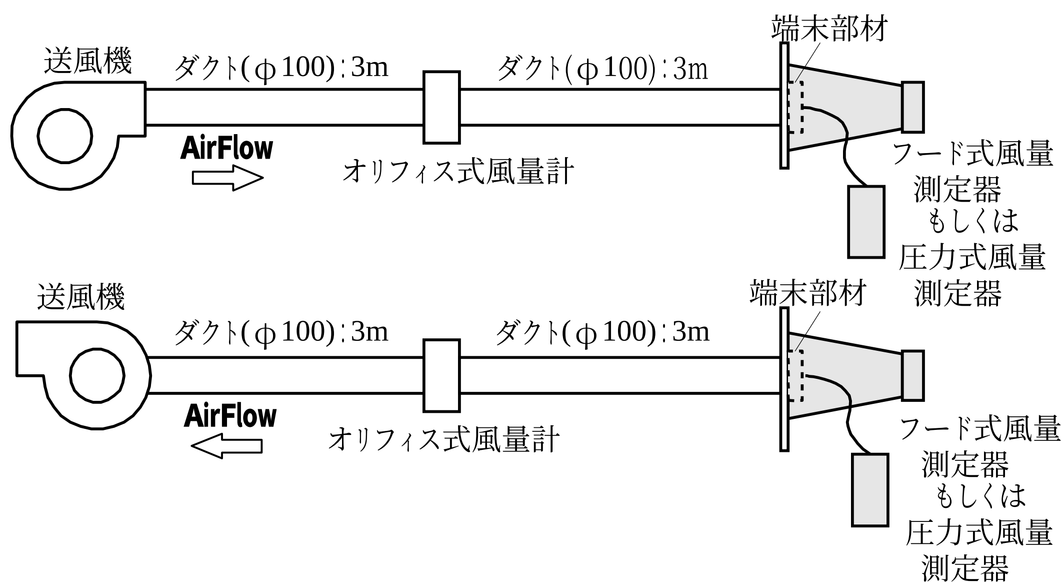


図 3-11　風量検証装置と実験方法
（上：吹出し実験　下：吸込み実験）

〔フード式風量測定器〕



[A] 熱線式風量計

測定範囲　：8～450 m^3/h

重量　：1.7 kg



[B] 熱線式風量計

測定範囲　：7～230 m^3/h

重量　：1.75 kg



[C] プロペラ式風量計

測定範囲　：10～300 m^3/h

重量　：1.0 kg

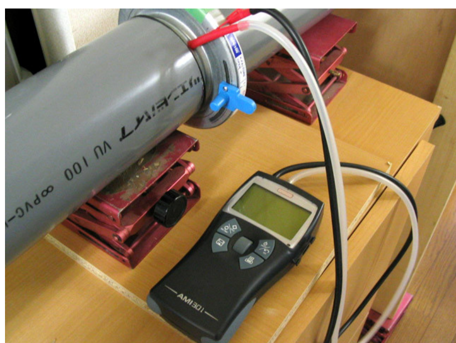


[D] 圧力補償ﾌｧﾝ付き風量計

測定範囲　：0～300 m^3/h

重量　：3.9 kg

〔k ファクタ法対応測定器〕



[E] 圧力式風量計

圧力範囲　：0～±1000 Pa（分解能 1.0 Pa）

風量範囲　：0～95 m^3/h（k=3 の場合）

重量　：450 g



[F] 圧力式風量計

圧力範囲　：-100～1500 Pa（分解能 0.1 Pa）

風量範囲　：0～116 m^3/h（k=3 の場合）

重量　：400 g

図 3-12　検証対象の風量測定器



写真 3-2　実験に用いた海外製の端末部材の例

②実験結果と考察

測定精度は、式 2.2 に示した相対誤差により整理しました。図 3-13～17 に実験結果を示します。全体的にほとんどの測定装置で吹出し条件での相対誤差が大きくなっており、端末部材による周辺での偏流が影響している可能性が考えられます。またプロペラ式風量計を除いて比較的高い精度を有し、相対誤差が 0 に近いか負の値を示しました。以下、風量測定器ごとに実験結果の考察を記します。

[A]および[B]は購入から数年経過しており、メーカーの指示する校正を行っていませんでしたが比較的、標準風量と一致しました。また相対誤差が 7％ 程度あった[B]は、全ての検証風量で同程度の相対誤差を示していることから校正を行い一定の係数を乗じることで精度を向上させることが可能と考えられます。

[C]は非常に軽く取り扱いが容易であったが誤差が最も大きい結果となりました。また検証風量によって相対誤差が変動するため、校正には工夫が必要となると考えられます。

[D]は上述の JIS A1431 のように圧力補償ファンを有しており、重量が比較的重く、測定装置の取り回しには力を要しましたが、相対誤差は約 5％ 以下とよい値を示しました。

k ファクタ法による[E]および[F]は高い精度を示し、平均的な相対誤差が 5％ 未満であった。なおこれら結果には測定装置の有している誤差の他に、端末部材に示された k 値の誤差も含まれており、この誤差については次に追加検証します。

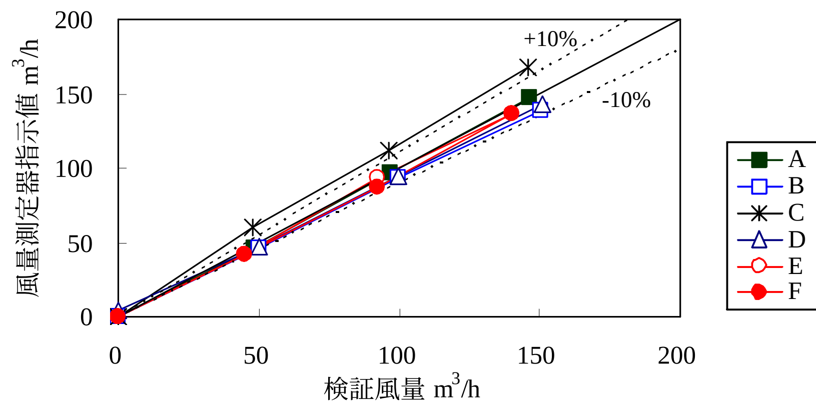


図 3-13　風量測定器の指示値（吹出し条件の平均）

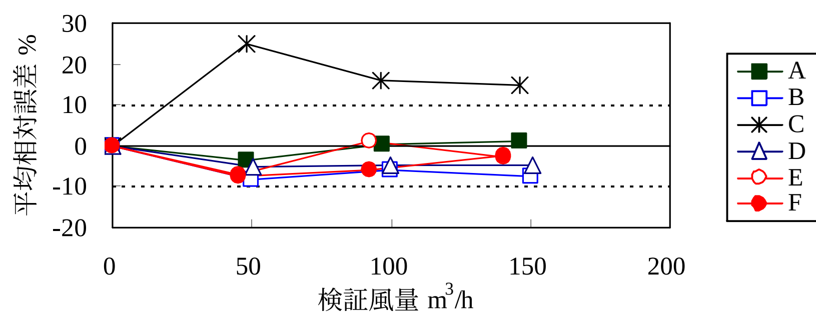


図 3-14　風量測定器の平均相対誤差（吹出し条件）

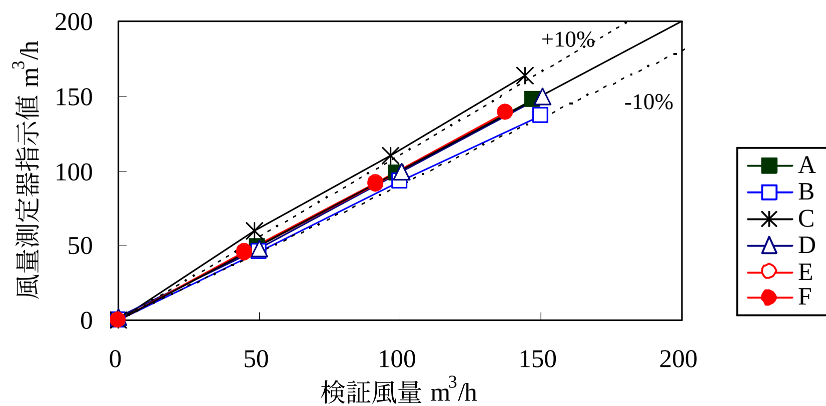


図 3-15　風量測定器の指示値（吸込み条件の平均）

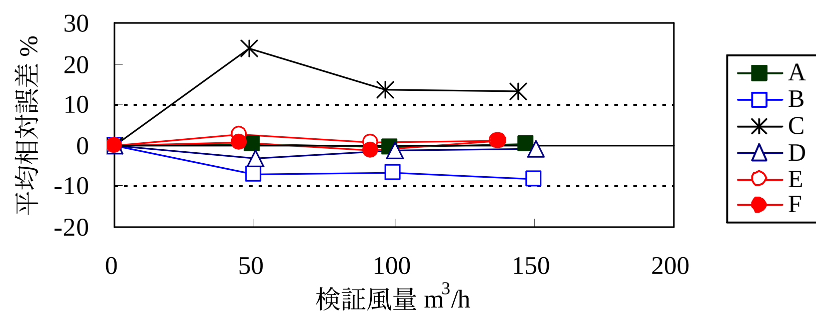


図 3-16　風量測定器の平均相対誤差（吸込み条件）

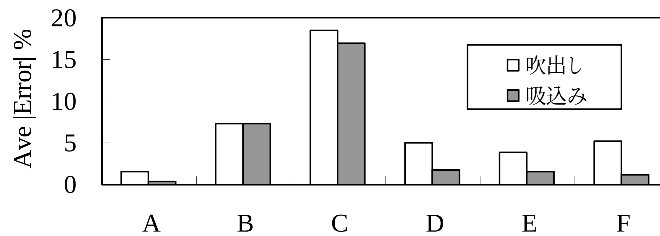


図 3-17　測定器の絶対相対誤差の平均値（0 ㎥/h を除く）

③風量測定器の測定精度に関する追加実験と結果

ここでは、以上の実験に加えて行った風量測定器の測定精度に関する追加実験について示します。表 3-8 に追加実験の内容を示します。

表 3-8　風量測定精度に関する追加実験

実験 EX01
フード式風量測定器[A]を用いた端末部材の形状による風量測定値の誤差に関する実験
実験 EX02
圧力式風量計[E]および[F]の圧力指示値の精度測定実験

EX01 では、前節の実験結果のように端末部材周辺の偏流による測定誤差について検討を行いました。風量測定用の 1 辺 2 m の換気システム部材の PQ 特性測定用チャンバに 200 mm 角の開口を設けその状態を基準風量とし開口形状を変化（図 3-18）させて風量 10 m^3/h～300 m^3/h において風量測定器の給気および吸込み条件での風量指示値データを取得しました。図 3-18 の実験結果に示したように吸込み条件では開口形状による差異はほとんどなかったが、吹出し条件では基準開口の 3/4 を閉鎖し、偏流が生じていると考えられる開口 b の設定で約 -8 %の誤差が生じました。フード付き熱線式風量計では吹出し端末部材に応じて係数を乗じるなど工夫が必要であると考えられます。

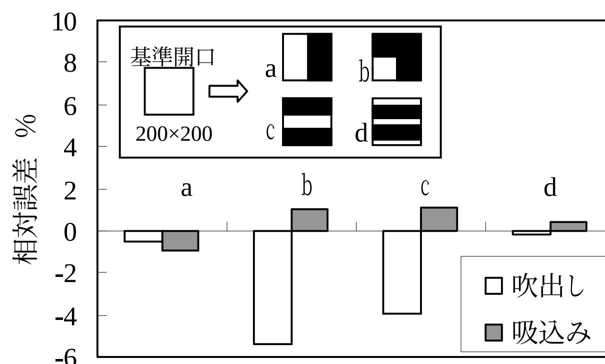


図 3-18　装置[A]の端末部材形状による相対誤差

EX02 では EX01 で使用したチャンバ内の静圧を変化させて風量測定器の指示値データを取得しました。図 3-19 の実験結果に示すように検証圧力と各測定装置の指示値に大きな差異は見られず、風量が式(3.1)に従うと仮定した場合の風量に関する相対誤差も比較的小さかった。しかし検証圧力差 2 Pa の条件で、[E]の指示値が 0Pa となり高い相対誤差となった。これは[E]の分解能が 1 Pa であり、0 Pa 付近の測定が不得手であったことに起因していると考えられる。

今、測定装置の相対誤差が式(3.2)に従うと仮定し、$Error_M$ に前節での吹出し条件による相対誤差（-5.0 %）を、$Error_I$ に EX02 での結果（-3.1 %）を装置[F]について代入すると $Error_{EX}$ は 3.9%を示し、製品に示された k 値や式(3.1)および測定時の条件などにこの程度の誤差が含まれると考えられます。

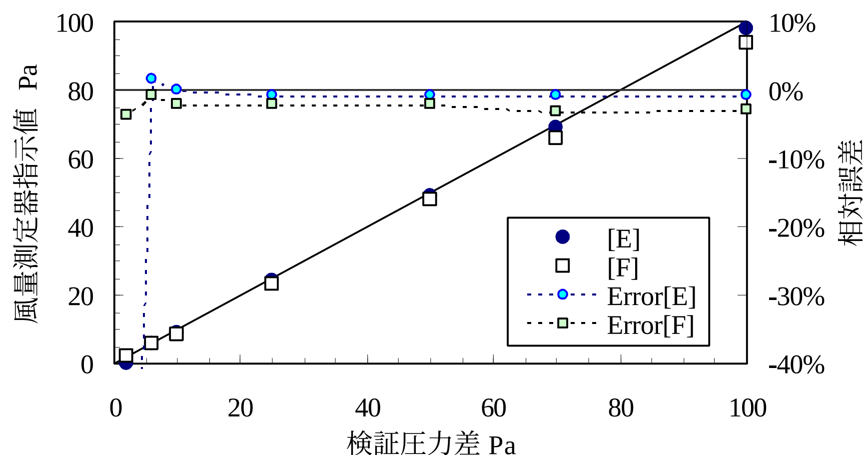


図 3-19　風量測定器[E][F]の圧力測定値および風量換算相対誤差

$$Error_M = \sqrt{Error_I^2 + Error_{EX}^2} \qquad (3.2)$$

$Error_M$：測定値の相対誤差 %

$Error_I$：測定装置の相対誤差 %

$Error_{EX}$：測定装置以外の相対誤差 %

（4）現場における測定方法の実施事例

ここでは以上で対象とした風量測定方法の現場における実施事例を示します。

①スウェーデンにおける風量測定および調整事例

ストックホルムの大学施設の改修工事における事例を図 3-20 に示す。この現場では主に k ファクタ法を用いて風量測定を行い、k 値が表示されていない旧式の端末部材ではフード式風量測定器を用いて風量測定を行っていました。また k ファクタ法に対応した測定装置を 2 台使用し基準となる端末部材の風量を無線で送信することによって他の部材において基準風量を検知し、等しい風量となるようにダンパを調節していました。

この調整手法はわが国の事例で多い送風機ユニットから多数のダクトが出ているものや、送風機ユニットに接続された 1 本のダクトに分岐（合流）部材を設置するような住宅用換気システムの風量調整にも適応が可能であると考えられます。

②k ファクタ法適応端末部材の試作と風量検証事例

第 3 種換気システムの排気用室内端末部材に工夫を加え、k ファクタ法にて風量測定が行えるようにしたものと、その部材を用いて実験住宅において風量測定を行った事例を図 3-21 に示します。当該端末部材は、風量調整のために開口面積を変動させる絞り機構を有していますが、開口面積を変動させてもほとんど k 値がかわらないもので、また給気部材としても適用可能です。この事例ではφ50 mm のフレキシブルダクトを使用しているものでありましたが、k 値による風量測定値をトレーサーガスやフード式風量測定器の測定値と比較した結果、それぞれに大きな差異がないことが確かめられました。



① 圧力計（k ファクタ法）による風量測定
② フード式風量測定器による風量測定
③ 無線機を使用した風量調整（k ファクタ法）

図 3-20　スウェーデンにおける風量検査・調整





①$Q[m^3/h]=11.633\Delta P^{0.5013}$ の特性を有する排気用端末部材
②当該端末を使用した現場での風量測定事例

図 3-21　端末部材の試作と現場での測定事例[2]

（5）本章のまとめ

本章では、風量測定手法のレビュー、実際の端末部材を用いた風量測定器の精度検証実験、現場での測定事例に関する調査、および端末部材の試作と現場への適応事例を示しました。実験や事例で示した圧力計を用いるｋファクタ法は測定者による測定値の差異も少なく、測定器の設置により換気システム風量にも影響を与えないため、この手法に対応した部材を用いれば現場における有効な測定方法になると考えられます。また国内の現場において使用が確認されている熱線式フード式風量測定器を海外製の端末部材に適用した場合、特に吸込み条件で一定の精度を有していることが確認されました。

〔参考文献〕

[1] PER JOHANSSON　ANDERS SVENSSON : Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer , BYGGFORSKNINGSRÅDET , 1998

[2] JIS A 1431-1994

[3] JIS B 8330-1981

[4] Claude −Alain Roulet,　Luk Vandaele：Technical Note AIVC34 Air Flow Patterns within Buildings Measurement Techniques, Air Infiltration and Ventilation Centre, 1991.12

2-4．フード式風量測定器を用いた現場での風量測定の方法

本章では、実際に住宅の現場で風量測定を行うために、国内で比較的入手が容易なフード式風量測定器を使用した風量測定の方法について示します。フード式風量測定器は、吸込み条件では比較的精度が高い実験結果が得られていますが、吹出し条件では誤差が大きくなり易く、測定には注意が必要です。またフード式風量測定器は通常は風のない室内での測定が前提とされていますので、屋外端末での測定は風が全くない場合にのみ行うこととして、その測定結果は参考程度と考える必要があります。室内側と屋外側の両方で風量を測定することは、換気システムに何らかの不具合があった場合の発見が容易となるので、可能な限り室内側・屋外側の両側から測定することが望ましいでしょう。屋外端末が風量測定の行えないような位置にあるということは、清掃などのメンテナンスも出来ないような位置であるため、このような計画は推奨できません。また本書では外壁式の同時給排気形換気扇の風量測定は対象としていません。吸込み形か吹出し形のどちらか一方の機能を持った換気扇や端末部材のみを測定対象としています。

2-4-1　風量測定器の構成例

ここでは、端末部材に特別な機器を用いて実際に現場の測定で使用する風量測定器の概要について記します。フード式風量測定器はたとえば写真 3-3～4 のような機器で、換気システムの端末部材の吹き出し・吸い込み空気を風量検知部に導くためのフードを有する機器のことです。本章では例として前章で示した風量測定器[A]を使用します。国内では数種類のフード式風量測定器の購入ができますので、精度などを検討の上、入手下さい。



写真 3-3　風量測定器の構成の例（１）

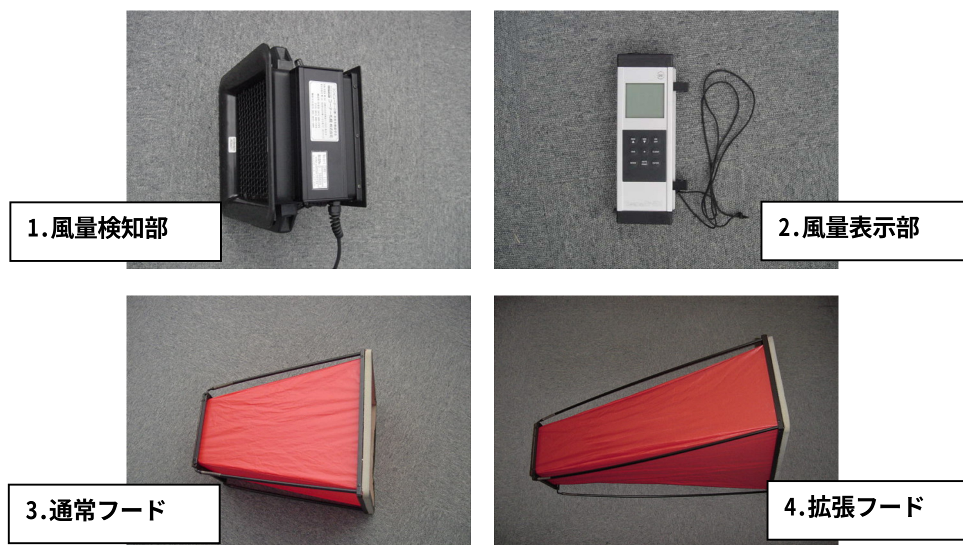


写真 3-4　風量測定器の構成の例（2）

フード式風量測定器は、吸込み端末でも吹出し端末でも測定できますが、吸込み端末での測定における相対誤差の方が小さい値を示します。風量表示部では任意の時間の平均風量が表示できる製品もあり、一定時間の測定結果を平均できるため記録レポートの作成に便利です。また風量検知部に接続するフードはこの例では、通常フードが 300 mm×300 mm×400 mm で拡張フードが 650 mm×250 mm×800 mm となっています。これらは測定状況によって切り替えて使ってください（2-4-2 に記述）。また小さすぎるフードは端末部材周辺の空気の流れを変えてしまうため、検知部の精度が高くても風量測定器を使用していない条件における風量とは異なっている可能性があるので注意が必要です。

2-4-2　現場での風量測定

ここでは現場測定に必要な、準備する項目、測定装置の設定方法および測定の注意事項について記します。

（1）測定の準備

①測定現場に行く前の準備

現場に行く前に以下の用意や準備をして下さい。

- 対象住宅の平面図、換気システムの配置図および設計風量などの資料
  （あらかじめ換気システムの位置を確認しておくと良いでしょう）
- 記録用紙（記録用紙の例を本書の最後に添付しています）
- 脚立等（天井部にある端末部材の測定時に無理な測定姿勢とならないよう使用します）
- 使用する風量測定器は、メーカーの指定する校正をうけるか、実験室でその測定精度を十分確認しておいて下さい。

②換気システムおよび住宅の準備

ファンが安定した運転を開始するまでには時間がかかりますので、可能であれば測定を行う数日前から運転を開始して下さい。どうしても測定日当日まで換気システムの運転が出来ない場合は、測定開始の少なくとも 30 分～2 時間以上前に運転を開始して下さい。換気システムの運転開始から時間が十分経過していない場合は、十分な風量が出ない場合があります。

また現場において以下の確認を行ってください。

- 吹出し端末の位置、吸込み端末の位置を確認し分類番号をつけて設計図と比較しながら記録します。室内端末のみならず屋外端末も記録して下さい。（分類番号の例は 2-4-3 に記してあります）
- 上記位置が図面と整合していない場合はその旨を記録用紙に記録する。

③風量測定器の準備

1）風量測定器の組み立て

フード部と風量検知部が分かれている測定器では、測定する端末部材にあわせてフードの大きさを選択して、風量検知部に接続して下さい。本章で例としている測定器では、更に風量表示部を接続する必要があります。



写真 3-5　左：通常フードをつけた状態　右：拡張フードをつけた状態の例

2）風量測定器の充電

充電式の風量測定器の場合は測定の前に必ず十分に充電をしておいて下さい。また電池式の風量測定器の場合は、新しい電池を用いて下さい。電圧が安定しない場合は正しい測定が出来ないと考えられます。本書で例としている測定器は充電式で、写真の○で囲んだ部分に AC アダプタを差し込む部分があります。充電の方法などは使用する測定器の取扱説明書に従って下さい。



写真 3-6　AC アダプタの接続位置の例

（2）測定方法

測定は、住宅のドアや窓などを全て閉めた条件で行って下さい。また測定者は無理な体勢とならないように測定を行って下さい。風量の測定は各端末で 10 秒以上の測定を行いその平均値を記録してください。

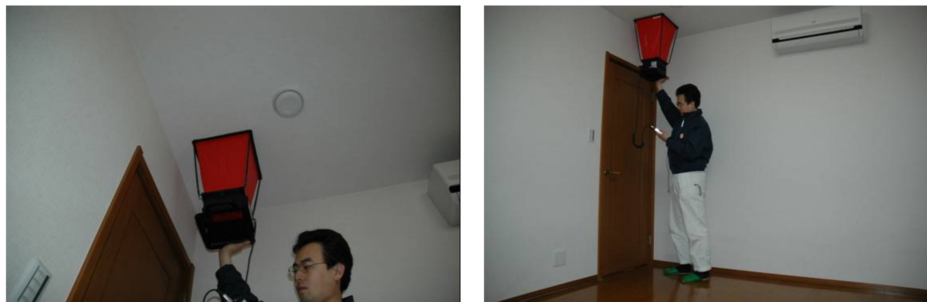


写真 3-7　測定の姿勢

この写真では片手でフードを支えていますが、可能な限り両手で支えてフードと壁の周囲に隙間を作らないようにしてください。しかし風量測定器を通過する空気の流れを邪魔しないようにして下さい。顔などを近づけて空気流動の邪魔となると測定に誤差が生じる可能性があります。以下、各端末における測定の注意点を示します。

①吸込み端末での測定

フード式の風量測定器は吸込み条件での測定において相対誤差が小さい特徴を持っています。通常の吸込み端末では「通常フード」での測定で問題ありません。しかし「通常フード」を用いて吸込み端末が覆いきれない場合には大型の「拡張フード」を使用し、それでも測定が出来ない場合は、現場で大きめのフードを自作する方法が考えられます。しかし、そのような自作フードを用いた場合の測定精度は実験室での検査により確かめる必要があります。どのようなフードを使用したのかについては記録を必ず残して下さい。

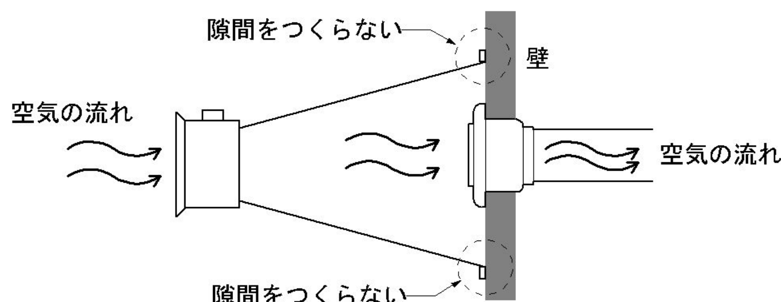


図 3-22　吸込み端末での風量測定の例

②吹出し端末での測定

吹出し端末での測定にはなるべく「拡張フード」などの十分な大きさ（端末部材を覆う部分の面積）と十分な長さ（端末部材から風量検知部までの長さ）のあるフードを使用して下さい。また以下の図 3-23 および図 3-24 のように吹出し流がなるべくフードの内側に直接当たらないようにフード位置を調節して下さい。「拡張フード」を用いない場合や用いても空気の流れを妨げる形で設置した場合は、10 %以上の相対誤差を生じる可能性があります。「拡張フード」を使用していない場合は、実験では相対誤差 50%となる例も確認されています。

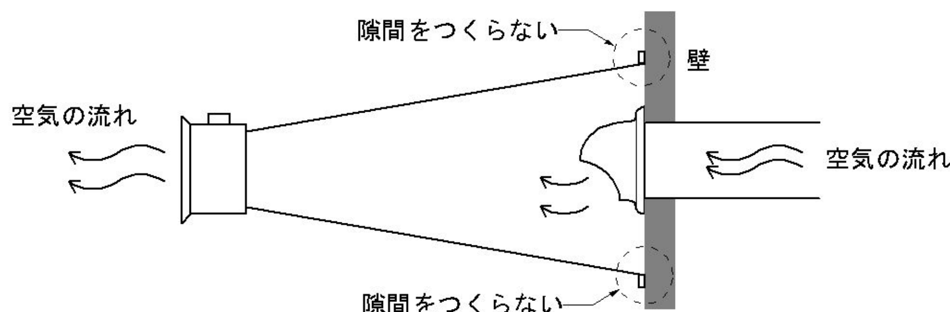


図 3-23　吹出し端末での風量測定

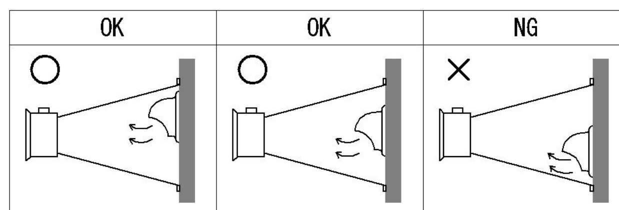


図 3-24　より正確な測定をするためのフードと風量測定器の位置（拡張フードを使用）

③測定が難しい部位での測定

測定が難しい箇所として以下のような箇所が考えられますが、どのような条件であったか、写真などの記録を残した上、可能な限り測定を行ってください。また、メーカーが提供しているフードでは測定が出来ないような大きい端末部材もあります。そのような場合は、段ボールなどで、大きめのフードを自作して風量を測定することも可能ですが、実験室においてその精度を確認しておく必要があります。

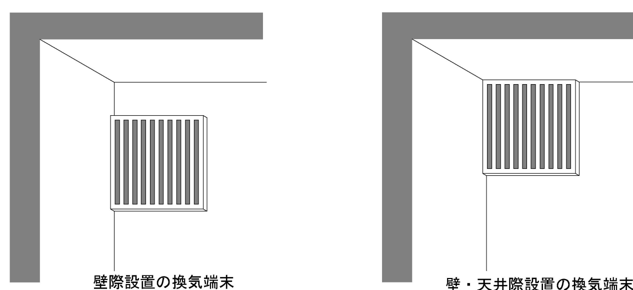


図 3-25　正確な風量測定が難しいと考えられる部位の例

2-4-3　測定の記録

測定の記録は以下の項目に留意して行ってください。

- 測定は換気システムの測定可能な全ての端末部材において行う
- 室内側からの測定のみでなく、屋外側からの測定も可能な限り行う
- 測定が不可能な場所は、その理由や条件を記述し、写真などの記録を行う
- 端末部材の写真を記録しておく（端末部材そのものと測定時の写真）
- 測定年月日（開始時間、終了時間含む）を記録する
- 測定者名を記録する
- 測定時の条件（外気温度、室内温度、湿度、外部風速・風向、大気圧など）について可能な限り記録する
- 測定住宅の住所
- 測定住宅の平面図（換気装置の配置図を兼ね、端末部材の分類番号を記入する）
- 測定住宅の床面積および気積を記入する
- 風量設計書（圧力損失計算、換気システム部材の特性値の載った資料）による設計風量を記述すし、測定風量と比較できるようにする
- 熱交換型第１種換気システムについては有効換気量率も記録する
- 設計と異なる施工がなされていた場合はそれについても記録する

端末部材の分類番号および記録用紙の例を次ページ以降に、記します。

表 3-9　端末部材の分類番号の例

1）室内端末

吸込み端末：R　（**例** R1、R2…）

吹出し端末：S　（**例** S1、S2…）

2）屋外端末

吸込み端末：O　（**例** O1、O2…）

吹出し端末：E　（**例** E1、E2…）

3）パイプファン

室内側から見て吸込み端末（排気ファン）：EF（**例**　EF1、EF2…）

室内側から見て吹出し端末（給気ファン）：SF（**例**　SF1、SF2…）

次ページに風量測定の記録事例を示します。

図面には必ず端末部材の位置と分類番号を記入してください。

測定結果の記入例（1）

■ 測定時の諸条件記録シート

●測定年月日	2004/8/18		開始時：	14:00		終了時：	15:00
●測定住宅	○☆◇※邸		住所：	茨城県つくば市立原1丁目			
●床面積	1階：	82.81m^2	2階：	66.25m^2	3階： -- m^2	合計：	149.06m^2
●気積	1階：	207.03m^3	2階：	159.00m^3	3階： -- m^3	合計：	366.03m^3
●測定者	★※◎◇@　○△☆◇●						

●測定条件			備考
外気温度：	25	℃	簡易測定器で計測
室内温度：	27	℃	風量測定装置の値
室内湿度：	60	%RH	
外部風速：	無風	m/s	アメダス気象データより
風向　：	---	--	アメダス気象データより
大気圧　：	1013	hPa	アメダス気象データより

●測定住宅の平面図・換気システム配置図（別紙でも可）

1階平面図
EF-1
排気ファン
EF-2
排気ファン
玄関
浴室
洗面所
台所
和室
居間・食堂
給気口
給気口
給気口
2階平面図
EF-3
EF-4
排気ファン
排気ファン
納戸
収納
洋室1
洋室2
主寝室
給気ファン
給気ファン
給気ファン
SF-1
SF-2
SF-3

●風量設計値

整理記号	風量
EF-1	50 m^3/h
EF-2	40 m^3/h
EF-3	50 m^3/h
EF-4	40 m^3/h
	m^3/h
SF-1	20 m^3/h
SF-2	20 m^3/h
SF-3	20 m^3/h
	m^3/h
給気合計	60 m^3/h
排気合計	180 m^3/h

●換気設備の種類
第3種ﾀﾞｸﾄﾚｽ (2階給気ﾌｧﾝ)

■ 風量測定結果の記録シート

整理記号	接続ダクト 径	接続ダクト 種類	測定部位の形式	測定条件（吹・吸）	測定風量 (m^3/h)	備考
EF-1	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	換気扇	吸込み	48	
EF-1	〃	〃	ﾌｰﾄﾞ端末	吹出し	52	上と同じ部位を屋外から計測 拡張ﾌｰﾄﾞ使用
EF-2	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	吸込み	36	
EF-2	〃	〃	ﾌｰﾄﾞ端末	吹出し	38	上と同じ部位を屋外から計測 拡張ﾌｰﾄﾞ使用
EF-3	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	換気扇	吸込み	54	
EF-4	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	吸込み	42	壁際で測定困難 (写真添付)
SF-1	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	吹出し	19	
SF-2	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	吹出し	22	
SF-3	φ100mm	塩ビﾊﾟｲﾌﾟ	ﾊﾟｲﾌﾟﾌｧﾝ	吹出し	23	
室内側から測定した合計値			給気量 (吹出し合計)		180	=EF1+EF2+EF3+EF4
			排気量 (吸込み合計)		64	＝SF+SF2+SF3
屋外側から測定した合計値			給気量 (吸込み合計)		ー	＊2階測定不能
			排気量 (吹出し合計)		90	＝EF1+EF2　(＊2階測定不能)

測定結果の記入例（２）

■　測定時の諸条件記録シート

●測定年月日	2004/8/18	開始時：	14:00	終了時：	15:00		
●測定住宅	○☆◇※邸	住所：	茨城県つくば市立原1丁目				
●床面積	1階： 82.81m^2	2階：	66.25m^2	3階：	-- m^2	合計：	149.06m^2
●気積	1階： 207.03m^3	2階：	159.00m^3	3階：	-- m^3	合計：	366.03m^3
●測定者	★※◎◇@　○△☆◇●						

●測定条件			備考
外気温度：	25	℃	簡易測定器で計測
室内温度：	27	℃	風量測定装置の値
室内湿度：	60	%RH	
外部風速：	無風	m/s	アメダス気象データより
風向　：	---	--	アメダス気象データより
大気圧　：	1013	hPa	アメダス気象データより

●測定住宅の平面図・換気システム配置図（別紙でも可）

送風機ユニットの有効換気量率90%

●風量設計値

整理記号	風量
S-1	25 m^3/h
S-2	25 m^3/h
S-3	25 m^3/h
S-4	25 m^3/h
S-5	25 m^3/h
S-6	25 m^3/h
O-1	150 m^3/h
	m^3/h
R-1	140 m^3/h
E-1	140 m^3/h
給気合計	150 m^3/h
排気合計	140 m^3/h

●換気設備の種類

第1種ﾀﾞｸﾄ(熱交型･集中排気)

■　風量測定結果の記録シート

整理記号	接続ダクト 径	接続ダクト 種類	測定部位の形式	測定条件（吹・吸）	測定風量（m^3/h）	備考
S-1	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	吹出し	29	拡張ﾌｰﾄﾞ使用
S-2	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	吹出し	32	〃
S-3	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	吹出し	33	〃
S-4	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	吹出し	21	〃
S-5	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	吹出し	22	〃
S-6	φ50mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	吹出し	24	〃
O-1	φ150mm	塩ﾋﾞﾊﾟｲﾌﾟ	ﾌｰﾄﾞ端末	吸込み	165	拡張ﾌｰﾄﾞ使用
R-1	φ100mm	ﾌﾚｷｼﾌﾞﾙ	ｸﾞﾘﾙ端末	吸込み	150	拡張ﾌｰﾄﾞ使用
E-1	φ150mm	塩ﾋﾞﾊﾟｲﾌﾟ	ﾌｰﾄﾞ端末	吹出し	145	拡張ﾌｰﾄﾞ使用
室内側から測定した合計値			給気量(吹出し合計)		161	=Σ(S1:S6)
			排気量(吸込み合計)		150	＝R1
屋外側から測定した合計値			給気量(吸込み合計)		165	＝O1
			排気量(吹出し合計)		145	＝E1

2-5．おわりに

本書では、住宅の風量測定を想定した風量測定器の精度実験の結果の一部や、関連する情報の紹介、およびフード式風量測定器を用いた風量測定の手順や留意事項についてとりまとめました。本書で、主な対象としたフード式風量測定器以外にも、2-3 で紹介した k ファクタ法は、一定の精度と 0.1Pa 以上の分解能を有した測定器を用いることができれば、よい手法であると考えられます。しかしながら国内製の端末部材のほとんどはこの測定法には対応していないため、残念ながら現時点では有用な方法とはなっていません。

現時点では、現場での測定データの拡充を行っている段階ですが、今まで行われた現場での施工状態の調査では、風量測定がしにくいような端末部材の設置状況が少なからず確認されています。計画上や施工上の条件からこのような設置状況となったと考えられますが、風量測定の観点からは、なるべくこのような設置はないようにするべきであると考えます。今後、現場や実験室における風量測定の実施結果の蓄積により新たな知見が得られ、本書が拡充される予定です。

平成 17 年 3 月

付．現場における風量の記録用紙

― 記録用紙 ―

■ 測定時の諸条件記録シート

●測定年月日			開始時：			終了時：	
●測定住宅			住所：				
●床面積	1階：　m^2		2階：　m^2		3階：　m^2		合計：　m^2
●気積	1階：　m^3		2階：　m^3		3階：　m^3		合計：　m^3
●測定者							

●測定条件		備考
外気温度：	℃	
室内温度：	℃	
室内湿度：	%RH	
外部風速：	m/s	
風向　：	--	
大気圧　：	hPa	

●測定住宅の平面図・換気システム配置図（別紙でも可）

●風量設計値

整理記号	風量
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
	m^3/h
給気合計	m^3/h
排気合計	m^3/h

●換気設備の種類

■ 風量測定結果の記録シート

整理記号	接続ダクト		測定部位の形式	測定条件（吹・吸）	測定風量（m^3/h）	備考
	径	種類				
室内側から測定した合計値			**給気量（吹出し合計）**			
			排気量（吸込み合計）			
屋外側から測定した合計値			**給気量（吸込み合計）**			
			排気量（吹出し合計）			

３．　施工状況の把握

3-1　目的

改正建築基準法令(平成15年7月1日施行)において全般換気に関する必要換気量の下限値が規定された。この間、機械換気設備を設ける場合の機械換気量の設計はメーカーカタログ値によって判定し、確認申請上もこれが許容される状況にある。

一方、平成15年度に行なった基準法改正以降の新築住宅における換気設備の風量測定で、カタログ値が確保できていない事例があった。また、従来軽視されがちであった換気設備の新規導入に際して、メーカーの技術指導が行き届かないケースもあり得ると懸念される。

このような事例、懸念を鑑み、新築住宅における換気設備の施工状況実態の調査および風量測定を実施し、メーカーへの情報提供とガイドラインとりまとめに資するデータを得ることを目的とする。

3-2　調査概要

(1) サンプル数

24件（秋季18件、冬季6件）

・換気設備の種別　：　右図

・住宅種別　　　　：　戸建住宅

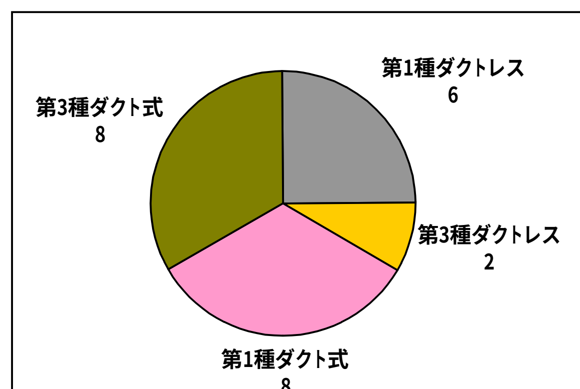


図 3-25　調査住宅における換気設備の種類

(2) 実施時期

・秋期調査　2004年9月～11月　　18戸

・冬期調査　2004年12月～1月　　6戸

(3) 実施方法

指定住宅性能評価機関に委託し、新築住宅の竣工検査時に実施した。

3-3　調査項目

(1) 風量測定

換気設備運転時の給・排気端末における風量を測定した。

なお現場測定に先立ち、測定精度の均一化のため別途「住宅の現場における風量測定マニュアル(案)」を整備し、指定住宅性能評価機関の担当者に対する風量測定講習会を実施した。



写真 3-8　風量測定講習会



写真 3-9　風量測定器

(2) 施工状況調査

各物件の換気設備施工状況を写真撮影し、記録した。



写真 3-10　現場での風量測定状況



写真 3-11　換気設備のダクト施工状況の例
(給気系 50φフレキシブルダクト)

(3) 換気設計図書調査

測定風量との照合および、現場状況写真との照合を行ない整理した。

・建築確認申請書「8.建築設備の種類」別紙、設計風量計算書等

・換気設備配置図（ダクト式の場合はダクト図）

(4) 化学物質濃度測定

ホルムアルデヒド、VOC 濃度をパッシブサンプラーで測定した。

(5) 換気設備メーカーの見解調査

換気設備の施工状況実態調査の結果をうけて、換気設備の施工状況事例に関する換気設備メーカーの見解を収集整理した。(3 社)

3-4 調査住宅の換気設備の概要

(1) ダクトレス換気設備

ダクトレス換気設備の住宅は 8 物件であった。そのうち 6 物件は第 1 種であり、2 物件が排気のみの第 3 種であった。

表 3-10 は 8 物件のファンの設置箇所と台数をまとめたもので、NO.1~6 が第 1 種、NO.21~22 が第 3 種である。

表 3-10 ダクトレス換気設備の設置箇所と台数

	給気ﾌｧﾝ		排気ﾌｧﾝ		
	LDK	個室	洗面所	ﾄｲﾚ	階段室
物件NO.1	2	3	1	2	
物件NO.2	2	3	1	2	
物件NO.3	1	4	1	2	
物件NO.4	1	4	1	2	
物件NO.5	2	4	1	2	
物件NO.6	1	4	1	2	
物件NO.21	—	—		2	1
物件NO.22	—	—		2	1

給気ファンは全て壁付のパイプファンであり、排気ファンは壁付パイプファンまたは天井ファンであった。

給気ファンの設置箇所は LDK に 1～2 台、他の個室（居室）に 1 台ずつ設けられており、対象空間の広さに対応して設置台数を計画している傾向が窺える。ただし、広さを無視した強引な事例も 1 件（NO.６）あった。

第 1 種の排気ファンは全て洗面所およびトイレの局所換気ファンを常時運転とした事例である。また、第 3 種の排気ファンはトイレの局所換気ファンを常時運転とし、さらに階段室に排気ファンを設けていた。

(2) 第 1 種ダクト式換気設備

第 1 種ダクト式換気設備は 8 物件で、全て熱交換型の機器本体集中排気であり、各階毎に 1 台の送風機を設ける方式である。ただし、一部の物件では熱交換型の天井ファンや壁付の熱交換型給排気ファンを追加的に用いるものもあった。階の広さが広い場合や小屋裏居室（申請上は収納）の場合の補足的な対応と考えられる。

表 3-11 に当該物件の室内給排気端末設置箇所と個数を示す。（この表には補足的に設けられた天井ファンや壁付ファンは含んでいない。）

給気端末は主として LDK および個室（居室）に、対象空間の広さに対応した個数が設けられている。なお、玄関、収納、廊下等に給気端末を設けている事例もあった。

排気端末（送風機本体）は洗面所や廊下に設けている事例が多く、その他の設置箇所としては LDK の一隅、クローゼット内部等であった。設置スペースや機械騒音に配慮した計画といえるであろう。

表 3-11 第 1 種ダクト式の室内端末箇所と個数

		給気端末			排気端末		
		LDK	個室	その他	洗面所	廊下	その他
物件NO.7	3階		2			1	
	2階	2					1
	1階		1		1		
物件NO.8	3階		2			1	
	2階	2					1
	1階		2			1	
物件NO.9	2階	3		1			1
	1階		3	1	1		
物件NO.10	2階		3	1	1		
	1階	2	1	1			1
物件NO.11	2階		3	1		1	
	1階	3	1			1	
物件NO.12	2階	4				1	
	1階		4			1	
物件NO.19	2階		3			1	
	1階	2	1			1	
物件NO.20	2階		3			1	
	1階	2	1			1	

(3) 第 3 種ダクト式換気設備

第 3 種ダクト式換気設備は 2 階（上階）を主対象としつつ階段室上部等の端末が 1 階の一部をカバーするように計画され、さらに 1 階に補足的な天井ファンを設けるか、トイレ、洗面所等の局所換気ファンを常時運転するように配慮した事例であった。

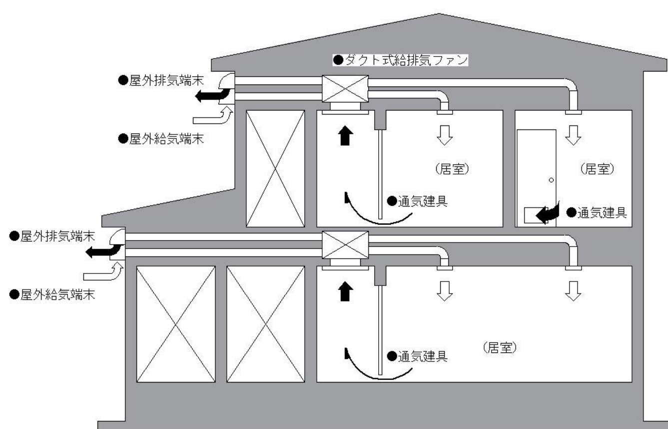
表 3-12 に当該物件の室内排気端末設置箇所と個数を示す。（この表には補足的に設けられた天井ファンや常時運転の局所換気ファンを含む。）

2 階の排気端末は全てタコ足型のダクト式換気設備の端末であり､1 階の排気端末は全て天井ファンまたは壁付パイプファンである。

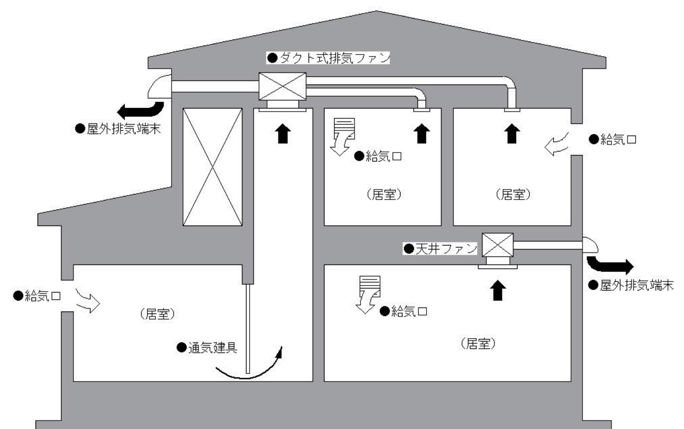
タコ足型ダクト式換気設備のダクト図は本体と端末を単純に直線で結んだものが多い。2 階小屋裏への設置であるため経路上の不都合は少ないと思われるが、経路の上下方向の曲がりを図面から読み取ることは不可能であり、最大圧損経路を類推することは難しかった。

表 3-12　第 3 種ダクト式の室内端末設置箇所と個数

		排気端末				
		LDK	個室	洗面所	廊下	その他
物件NO.13	2階		2		1	
	1階		1			
物件NO.14	2階		2		1	
	1階	1				
物件NO.15	2階		2		1	
	1階	1				
物件NO.16	2階		4	1		1
	1階	1		1		2
物件NO.17	2階		3			2
	1階	1				1
物件NO.18	2階		3		1	
	1階	1	1			
物件NO.23	2階	2	3		1	1
	1階			1		4
物件NO.24	2階		3		1	
	1階	1				



参考図 1　調査物件の第 1 種ダクト式換気設備代表例
・全熱交換型
・本体集中排気カセットタイプ
・1 フロア 1 システム



参考図 2　調査物件の第 3 種ダクト式換気設備代表例
・2 階天井裏に主システム設置
・主システムは 2 階と 1 階の一部をカバー
・1 階に補足的な排気ファンを設置
（局所換気ファンの常時運転もある）

3-5　現場における風量測定の問題点

①風量測定器具と換気端末の大きさが合わず測定できない。

　全熱交換型の本体吸込口は本体の 2 方向もしくは 4 方向からの吸込みであり、また本体機器も 700×700 程であるため測定器のフードで覆い切れなかった。



写真 3-12　物件 9 の例

②換気機器と開口部や照明器具、廻縁が近接のため測定ができない。



写真 3-13　物件 5 の例



写真 3-14　物件 3 の例



写真 3-15　物件 16 の例

③測定面と測定フードの間に隙間が発生。特に外部壁面は凹凸が多い。



写真 3-16　物件 13(網代天井)



写真 3-17　物件 14（外壁の凹凸）



写真 3-18　物件 13(外壁の凹凸)

④測定が困難であったケース

○屋外端末の測定では、外構工事が完了しておらず地盤面と端末位置の高低差が大きく、また足場が悪く測定できない場合が多かった。

○屋外端末の測定において屋外の風速が大きいと風量測定装置への影響があり、測定毎に測定値がばらつく結果となった。

3-6 給排気端末の風量調査結果

調査住宅の換気設備に関する設計図書の内容を整理し、設計値と実測値との関係を検討した。なお、ここで用いた実測値は全て換気設備の室内側端末の風量である。

(1) ダクトレス換気設備（給気）

調査住宅においてダクトレスの給気ファンを採用したものは 6 物件、31 台であった。このうち、2 物件においてそれぞれ 1 台が実施時に省略され、風量を測定できたファンは 29 台であった。

なお、省略された物件は確認申請において第 1 種換気設備としていたものであるが、計画上の排気量が 0.5 回／時以上であり、第 3 種換気設備とみなせば法的に問題はないと考えられる。

給気ファンの実測風量と設計風量の関係を図 3-26 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-27 に示す。
設計風量を上回ったファンは 1 台のみで、ほとんどが設計風量以下であった。風量比では 80%前後のものが多い。いずれのファンもパイプフードの圧損を見込んだ風量で計画しており、吹出しにおける風量測定器の精度(「風量測定装置の精度検証実験報告書」における［A］熱線式データ参照)が拡張フードで最大誤差 5%程度、標準フードで 10%程度であることを勘案しても設計風量を満足していない状況がありえると考えられる。ただし調査対象は 2 機種(2 メーカー)で、この結果が給気ファンの一般的性向を示しているとまでは言い難い。

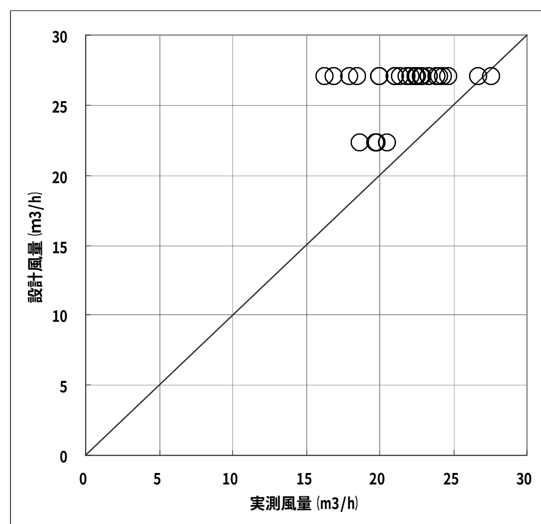


図 3-26　パイプファン(給気)の実測風量と設計風量

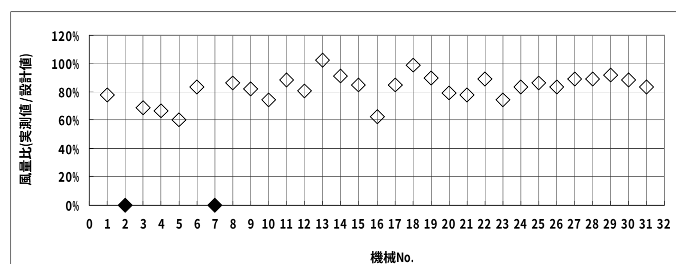


図 3-27　パイプファン(給気)の風量比(実測値/設計値)

(2) ダクトレス換気設備（排気）

調査住宅においてダクトレスの排気ファンを採用したものは 9 物件（第 3 種ダクト式物件に補足的に設けたものを含む）であった。このうち、4 物件 6 台が実施時に天井ファンに、2 物件 6 台がダクト式からパイプファンに変更され、設計風量が明らかで風量を測定できたファンは 11 台である。

排気ファンの実測風量と設計風量の関係を図 3-28 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-29 に示す。機械 No.3, 6～18 は機種が変更されたものまたは風量測定が不可能であったものである。

排気ファンにも設計風量以下のものがあった。いずれのファンもパイプフードの圧損を見込んだ風量で計画しており、吸込みにおける風量測定器の精度(前述資料参照)が比較的よいことを考慮すると排気ファンでも設計風量を満足していない状況があり得るといえるだろう。
なお、調査対象は 4 機種(2 メーカー)であったことを付記しておく。

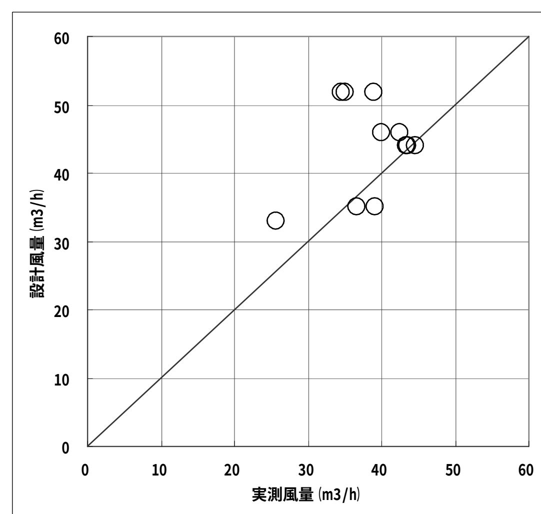


図 3-28　パイプファン(排気)の実測風量と設計風量

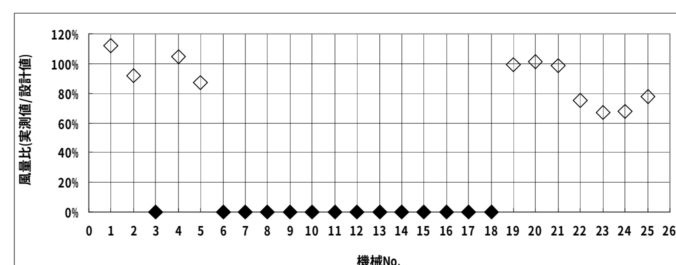


図 3-29　パイプファン(排気)の風量比(実測値/設計値)

(3) ダクト式換気設備（第１種・給気）

調査住宅において第１種ダクト式を採用したものは8物件（3階建て2件、2階建て6件）で、機械数18台(全て全熱交換型、各階毎に設置)であった。これらの風量計算は全て「シックハウス対策マニュアル」における詳細法(Ａ式)で行っており、計算に不備はなかった。また全てメーカーカタログ記載の有効換気量率を見込んでおり、うち4物件8台はさらに余裕率10%を見込んで計算していた。

室内グリル端末数は合計55であり、これらの実測風量と設計風量の関係を図3-30に、風量比(実測値/設計値)を図3-31に示す。端末風量はバラツキが大きく、風量0の端末が2箇所あり、他は風量比で60～180%であった。しかし、機械一台あたりの合計風量でみると(図3-32、図3-33)、風量比で80%以上となっており、前述の風量測定器精度(吹出し)を勘案すると、設計風量をほぼ満足しているとみられる。また、過剰な風量となっているケースも少なく、省エネルギー面での問題も少ないであろう。

ただし、機械毎の最小風量の端末(最大圧損経路)の実測風量と設計風量の関係(図3-34)をみると、設計風量未満のものが8ケースあり、風量0のケースと併せて不適切な施工状況が疑われる。

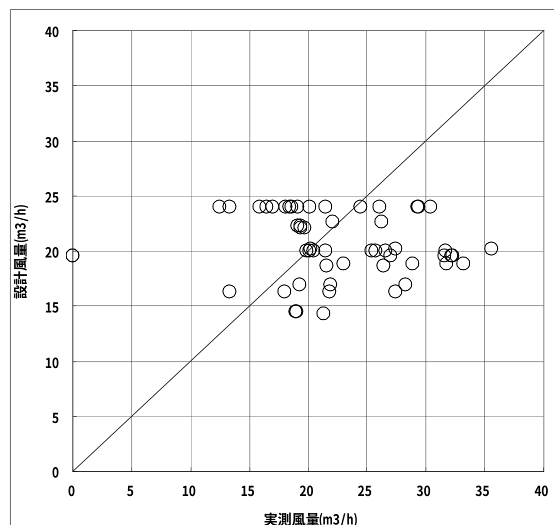


図3-30　室内端末の実測風量と設計風量
第１種ダクト式(全熱交換型)給気系

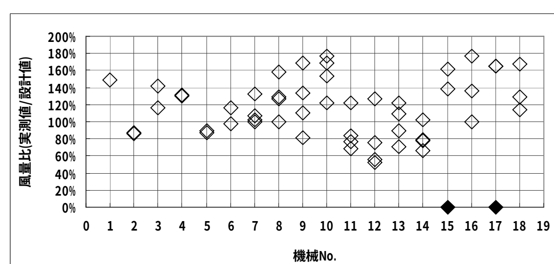


図3-31　室内端末の風量比(実測値/設計値)
第１種ダクト式(全熱交換型) 給気系

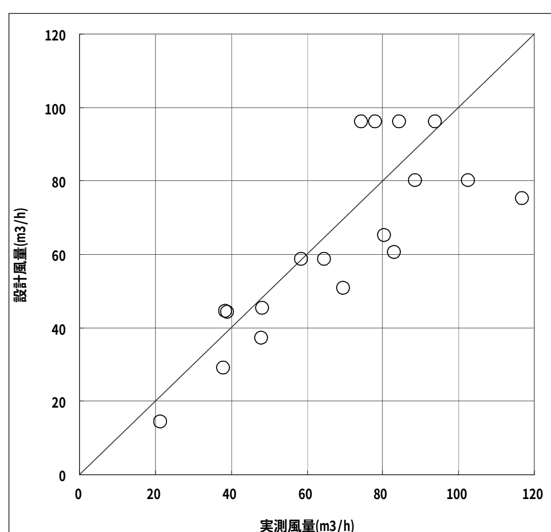


図3-32　換気設備1台毎の設計風量と実測風量合計
第１種ダクト式(全熱交換型) 給気系

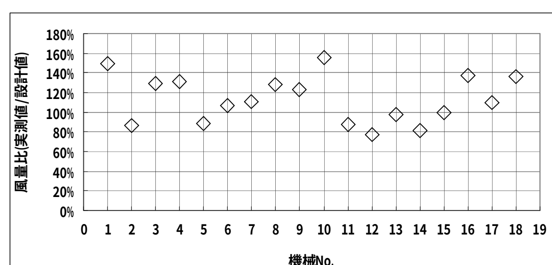


図3-33　換気設備1台毎の風量比(実測値/設計値)
第１種ダクト式(全熱交換型) 給気系

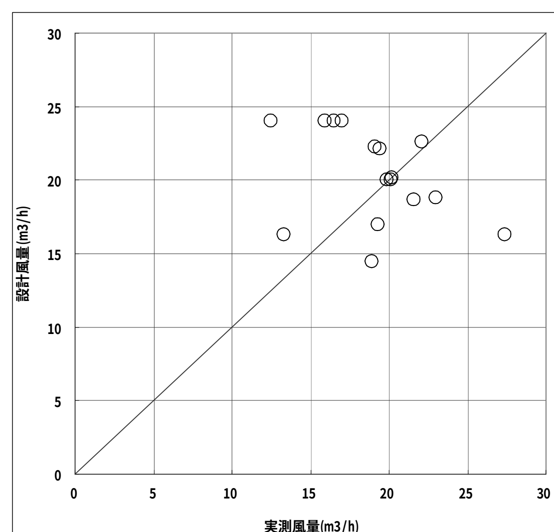


図3-34　最大圧損経路の実測風量と計画風量
第１種ダクト式(全熱交換型) 給気系

(4) ダクト式換気設備（第３種室内グリル端末）

調査住宅において第３種ダクト式(天井ファンを除く)を採用したものは 8 物件で、機械数は 8 台であった。これらの風量計算は全て「シックハウス対策マニュアル」における詳細法(A 式)で行っており、計算に不備はなかった。またこのうち 4 物件 5 台は余裕率 10%を見込んで計算している。

室内グリル端末数は 29 であり、これらの実測風量と設計風量の関係を図 3-35 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-36 に示す。また、機械一台あたりの合計風量について実測風量と設計風量の関係を図 3-37 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-38 に示す。

前述の風量測定器精度(吸込み)を勘案すると、全般に設計風量をほぼ満足しているとみられる。ただし、設計風量の 2 倍を超える風量となっているケースがあり、省エネルギー的には風量を絞る等の対応が必要であろう。

また、機械毎の最小風量の端末(最大圧損経路)の実測風量と設計風量の関係(図 3-39)をみると、設計風量未満のものが 3 ケースあり、不適切な施工状況が疑われる。

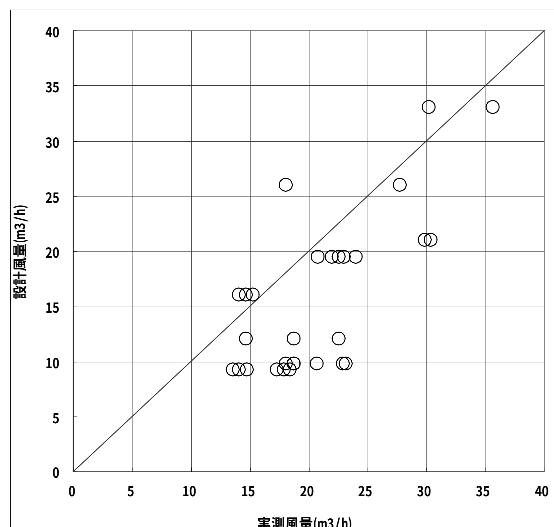


図 3-35　室内端末の実測風量と設計風量
第 3 種ダクト式 室内グリル端末

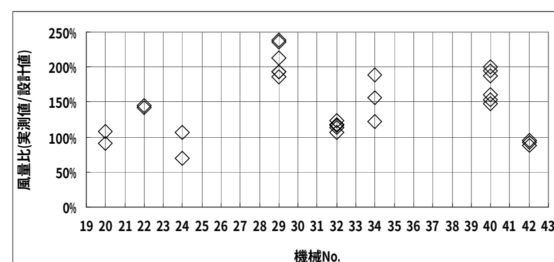


図 3-36　室内端末の風量比(実測値/設計値)
第 3 種ダクト式 室内グリル端末

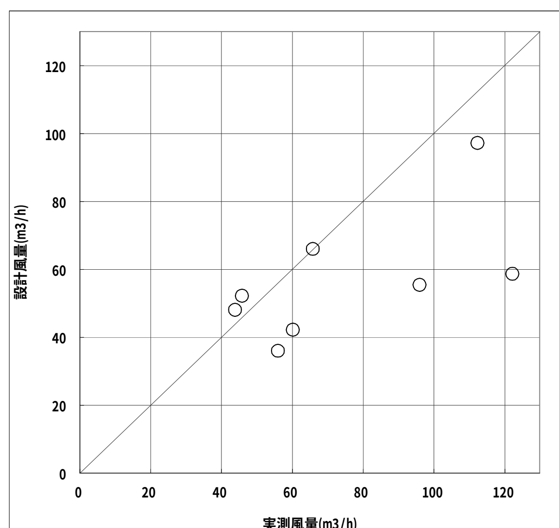


図 3-37　換気設備 1 台毎の設計風量と実測風量合計
第 3 種ダクト式 室内グリル端末

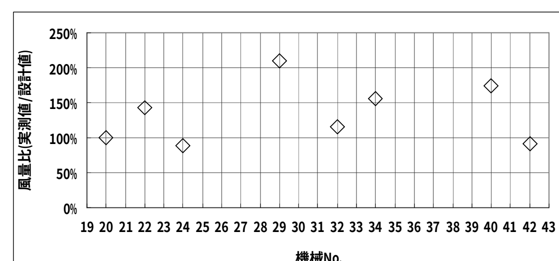


図 3-38　換気設備 1 台毎の風量比(実測値/設計値)
第 3 種ダクト式 室内グリル端末

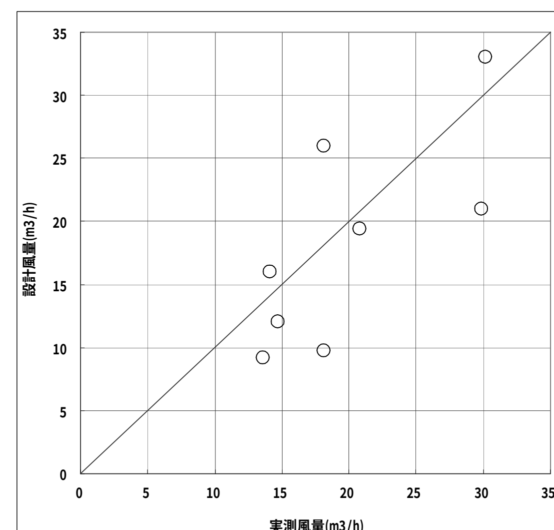


図 3-39　最大圧損経路の実測風量と計画風量
第 3 種ダクト式 室内グリル端末

(5) ダクト式換気設備（第３種天井ファン）

調査住宅において第３種ダクト式(天井ファン)を採用したものは 8 物件で、機械数は 13 台であった。これらの風量計算は全て「シックハウス対策マニュアル」における詳細法(A式)で行っており、計算に不備はなかった。またこのうち 5 物件 5 台は余裕率 10%を見込んで計算している。

これらの実測風量と設計風量の関係を図 3-40 に、風量比(実測値/設計値)を図 3-41 に示す。

天井ファンは実測風量と設計風量はほぼ一致している。これは、パイプファンに比べて機械の機外静圧が大きく、ダクト式としては経路が短く単純であるためと考えられる。

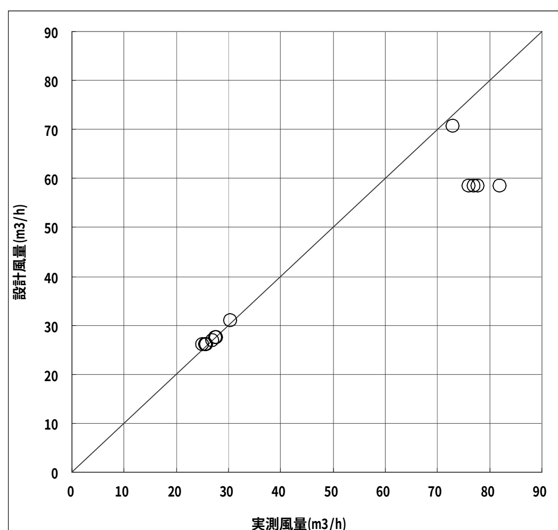


図 3-40　室内端末の実測風量と設計風量
第 3 種ダクト式 天井ファン

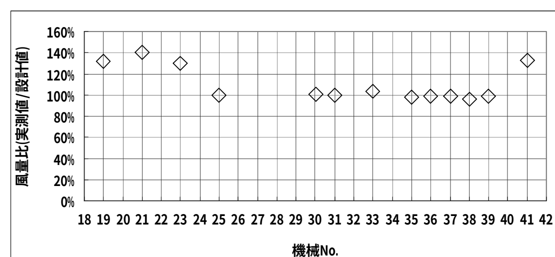


図 3-41　室内端末の風量比(実測値/設計値)
第 3 種ダクト式 天井ファン

3-7 設計施工に関して

調査住宅 24 物件において、換気設備の不具合および実施段階での仕様変更等が発生したものが 10 物件あった。その内容を表 3-13 に示す。

換気設備の明らかな不具合が 3 物件、3 箇所あった。「スイッチを入れても作動しないファンがあった」のは配線の未接続が疑われる。「風量ゼロの室内端末があった」のは当該端末のダクトが未接続かあるいはダクトが押し潰されているなどの施工不良が疑われる。いずれも天井張り後の調査のため、原因の特定はできなかった。今後の追加調査では天井張り前にダクト、電気配線等の確認を行うことが望ましい。

表 3-13　換気設備の不具合および変更事項の発生箇所数

不具合および変更事項		箇所数
不具合事項	・スイッチを入れても作動しない排気ファンがあった	1
	・風量ゼロの室内端末があった	2
変更事項	・給気ファンを省略	2
	・排気ファンを給気ファンに変更	2
	・ダクト式(排気)をパイプファンに変更	6
	・パイプファン(排気)を天井ファンに変更	6
	・局所換気用として計画した排気ファンを常時換気用に変更	2
	・端末位置を変更	2
	・換気設備の機械本体位置を変更	2
	・第1種換気を第3種換気に変更	2

3-8 換気設備メーカーの見解

① 低風量のパイプファンが定格風量を確保できていない状況の考えられる原因

- エージング（慣らし運転）不足でグリスの馴染みが不十分
  （1日程度エージングすると回復する）
- 想定外の圧損（内外温度差、外部風、風量測定器自体の圧損等）がかかっている
- 風量測定器の誤差
- 屋外フードの圧損を見込んだ設計となっていない

② 屋外端末の防風性能に関する選定基準の有無

- 選定基準はない
- 耐風型の防風フードが製品としてある（高層マンション用）

③ 風量計算における余裕率に関する考え方

- 算出された圧力損失に 10%の余裕率を見込む（2 社）
- 余裕率は見込まない（1 社）

④ 最大圧損経路の風量より圧損の少ない経路の風量の方が少ない状況の考えられる原因

- ダクトのつぶれや急激な曲がり
- ダクト長を調整せず、余ったダクトを天井裏に押し込んだ
- テーピング部からの漏れ
- 換気装置本体の風量ノッチの設定間違い
- 配線ミス（誤結線）

⑤ 多端末の換気設備を各階毎に設置する方式について

- 戸建住宅は 1 フロア 1 システムが一般的
- 上下階のダクト立ち上げはコスト高の要因であり、圧損が大きく風量不足の可能性あり
- カセットタイプ（本体と吸込み口が一体）が主流で、当該品の風量が比較的少ない
- 大風量タイプもあるが接続ダクト径が 150㎜ と大きく、施工性に難がある

⑥ ダクト式換気設備のダクト経路設計について

- 設計サポートを実施しており、本体と端末を直線で結ぶことはない
- 設計マニュアルで啓蒙している
- 非居室天井裏に本体ユニット設置、居室の出入り口付近に端末設置を推奨

⑦ 換気設備の複合方式について

- 主システムの風量が不足する場合に限り、天井ファン等を補足的に用いることがある
- 主システムの風量が不足する場合に限り、局所換気ファンを常時運転とすることがある
- 給排気型換気扇の第 1 種換気設備の場合、局所換気ファンを常時運転とすることを推奨

⑧ 換気設備の地域特性について

- 寒冷地の方が第 1 種熱交換型とする比率が高い
- 寒冷地の方がダクト式とする比率が高い
- Ⅱ地域以北では熱交換型、Ⅲ地域以南では第 3 種とするのが一般的

⑨ 換気部品の寸法体系について

- 寸法上の思想というほどのものはないが、1 番小さい寸法系を想定した製品設計になっている（1 社）
- 新製品開発時においてビルダーの寸法的要望を考慮することはありえるが、個々の製品で対応することはない（1 社）
- モジュールの概念で寸法構成をしている（1 社）
- ビルダーの要望を取り入れた形での製品開発が基本（1 社）

【新築住宅換気設備の施工実態調査一覧表】

調査資料

＊各測定機器の補正係数算定済み

No	測定時期	換気種別	ﾀﾞｸﾄ方式	集中/室別	A 延床気積	B 対象気積	C=B/A	換気計画 給気風量	換気計画 給気回数	換気計画 排気風量	換気計画 排気回数	＊計測結果 給気風量	＊計測結果 給気回数	＊計測結果 実測割合	＊計測結果 排気風量	＊計測結果 排気回数	＊計測結果 実測割合	実測/計画 給気	実測/計画 排気	過不足 給気	過不足 排気	測定時の問題点	施工時の問題点	測定データの採用	備考
1	秋期測定	第1種換気	ダクトレス式（一部ﾀﾞｸﾄ有）	室別給気ファン	202.3	176.8	87%	108	0.61	127	0.72	74	**0.42**	68%	122	**0.69**	96%	×	×	×	○	○	×	○	・施工時に給気ﾌｧﾝ1台(SF-2)が略された。（本表では除外して計算した）
2	秋期測定	第1種換気	ダクトレス式（一部ﾀﾞｸﾄ有）	室別給気ファン	202.3	176.8	87%	108	0.61	127	0.72	88	**0.50**	82%	121	**0.68**	95%	×	×	○	○	○	×	○	・施工時に給気ﾌｧﾝ1台(SF-2)が略された。（本表では除外して計算した）
3	秋期測定	第1種換気	ダクトレス式（一部ﾀﾞｸﾄ有）	室別給気ファン	206.0	191.7	93%	135	0.70	127	0.66	121	**0.63**	90%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	×	△	・測定ﾌｰﾄﾞが開口部にかかり排気(EF-1)が一部測定不能 ・排気ﾌｧﾝが給気ﾌｧﾝ(SF-5)に変更
4	秋期測定	第1種換気	ダクトレス式（一部ﾀﾞｸﾄ有）	室別給気ファン	208.6	192.9	92%	135	0.70	127	0.66	112	**0.58**	83%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	×	△	・測定ﾌｰﾄﾞが開口部にかかり排気(EF-1)が一部測定不能 ・排気ﾌｧﾝが給気ﾌｧﾝ(SF-5)に変更　・配線ﾐｽで測定不能
5	秋期測定	第1種換気	ダクトレス式	室別給気ファン	264.0	241.0	91%	162	0.67	132	0.55	134	**0.55**	82%	132	**0.55**	100%	×	○	○	○	×	○	△	・天井廻り縁で測定ﾌｰﾄﾞにかかる。
6	秋期測定	第1種換気	ダクトレス式	室別給気ファン	234.5	227.2	97%	112	0.49	155	0.68	99	**0.43**	88%	109	**0.48**	70%	×	×	×	×	○	○	○	
7	秋期測定	第1種換気　全熱交換	ダクト併用式	室別給気・集中排気	207.2	198.6	96%	134	0.67	134	0.67	108	**0.54**	97%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。 ・O-1,E-1は接近のため、O-2,E-2,O-3,E-3は高所のため測定不能
8	秋期測定	第1種換気　全熱交換	ダクト併用式	室別給気・集中排気	220.7	213.0	97%	146	0.68	146	0.68	125	**0.59**	86%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。 ・O-1,E-1は接近のため、O-2,E-2,O-3,E-3は高所のため測定不能
9	秋期測定	第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	331.0	297.9	90%	173	0.58	152	0.51	191	**0.64**	126%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。 ・O-1,E-1,O-2,E-2は高所のため測定不能
10	秋期測定	第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	373.0	306.7	82%	172	0.56	172	0.56	197	**0.64**	115%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。
11	秋期測定	第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	248.4	205.6	83%	163	0.79	163	0.79	159	**0.77**	97%	測定不能	----	----	×	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。 ・O-2,E-2は高所のため測定不能
12	秋期測定	第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	254.7	217.1	85%	163	0.75	163	0.75	172	**0.79**	106%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	○	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。 ・O-1,E-1,O-2,E-2は高所のため測定不能
13	秋期測定	第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	282.0	178.3	63%			124	0.70				143	**0.80**	115%		○		○	△	○	△	・換気対象外の天井裏で5m3/h、階段室で64m3/hの計画換気があったが集計で除外した。 ・外壁の凹凸(E-1)及び網代天井(R-1)の隙間で計測不安　・棟換気測定不能
14	秋期測定	第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	407.6	332.7	82%			223	0.67				234	**0.70**	105%		○		○	△	○	△	・換気対象外の天井裏で5m3/hの計画換気があったが集計では除外した。 ・外壁の凹凸(E-1)の隙間で計測不安　・棟換気測定不能
15	秋期測定	第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	274.7	145.6	53%			111	0.76				122	**0.84**	110%		○		○	○	○	○	・換気対象外の天井裏で5m3/h、ホールで53m3/hの計画換気があったが集計では除外した。　・グリル大きく測定不能　・E-2高所のため測定不能
16	秋期測定	第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	341.0	341.0	100%			170	0.50				測定不能	----	----		----		----	×	○	×	・測定ﾌｰﾄﾞが照明器具にあたり(R-2)測定不能 ・排気ｸﾞﾘﾙ(R-3)が測定ﾌｰﾄﾞより大きく測定不能
17	秋期測定	第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	304.3	304.3	100%			152	0.50				168	**0.55**	110%		○		○	△	○	○	・E-1～3、高所のため測定不能
18	秋期測定	第3種換気	ダクト式	集中排気ダクト	342.0	188.4	55%			140	0.74				155	**0.82**	111%		○		○	△	○	○	・換気対象外の天井裏で5m3/h、ホールで68m3/hの計画換気があったが集計では除外した。 ・R-6のグリルが大きく測定不能　・E-3高所のため測定不能
19	冬期測定	第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	254.6	214.6	84%	121	0.56	121	0.56	142	**0.66**	117%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	×	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。 ・接続ﾐｽか風量ｾﾞﾛが1箇所ある。　・O-1,E-1は高所のため測定不能
20	冬期測定	第1種換気　全熱交換	全ダクト式	室別給気・集中排気	245.9	197.0	80%	121	0.61	121	0.61	134	**0.68**	111%	測定不能	----	----	○	----	○	----	×	×	△	・全熱交換機吸込口の形状にﾌｰﾄﾞが合わず測定不能。 ・接続ﾐｽか風量ｾﾞﾛが1箇所ある。　・O-2,E-2は高所のため測定不能
21	冬期測定	第3種換気	ダクトレス式	局所排気ファン	230.2	206.0	89%			110	0.53				104	**0.51**	95%		×		○	△	×	○	・1種換気から3種換気に変更された　・EF-1窓掛かりで測定不安
22	冬期測定	第3種換気	ダクトレス式	局所排気ファン	229.0	188.3	82%			110	0.58				126	**0.67**	115%		○		○	△	×	○	・1種換気から3種換気に変更された　・EF-2開口部掛かりで測定不安
23	冬期測定	第3種換気	ダクト式	室別排気ﾀﾞｸﾄ・集中排気ﾀﾞｸﾄ	397.9	397.9	100%			199	0.50				229	**0.57**	115%		○		○	△	○	○	・E-5は高所のため測定不能
24	冬期測定	第3種換気	ダクト式	室別排気ﾀﾞｸﾄ・集中排気ﾀﾞｸﾄ	279.3	169.3	61%			107	0.63				122	**0.72**	114%		○		○	△	○	○	・換気対象外の天井裏で5m3/h、ホールで76m3/hの計画換気があったが集計では除外した。 ・E-2は高所のため測定不能
秋期・冬期　報告の平均					272.6	229.5	85%	139	**0.64**	143	**0.64**	133	**0.60**	94%	145	**0.66**	104%	**36%**	**69%**	**86%**	**92%**	**12件**	**8件**	**23件**	

※　計画時の風量は、建築確認申請上の風量であり、必ずしも機器風量とはかぎらない。